



TUGAS AKHIR (TM-141585)

**PENGUKURAN PENYIMPANGAN DIMENSI DAN
GEOMETRIK PUNCH DAN DIE MESIN PRESS
HIDROLIK UNTUK PROSES PEMBUATAN
SELONGSONG PELURU KALIBER 20 MM**

DENY PRASYAMTYO
NRP 2110 100 062

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.
NIP 195811061986011001

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT (TM-141585)

**MEASUREMENT OF DIMENSIONS AND
GEOMETRIC DEVIATION PUNCH AND DIE
HYDRAULIC PRESS MACHINE FOR 20 MM
CALIBER BULLET CASINGS PRODUCTION**

DENY PRASYAMTYO
NRP 2110 100 062

Academic Advisor
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.
NIP 195811061986011001

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUKURAN PENYIMPANGAN DIMENSI DAN GEOMETRIK PUNCH DAN DIE MESIN PRESS HIDROLIK UNTUK PROSES PEMBUATAN SELONGSONG PELURU KALIBER 20 MM

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DENY PRASYAMTYO

Nrp. 2110 100 062

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof.Dr.Ing.Ir. I Made Londen Batan, M.Eng. (Pembimbing)
NIP. 195811061986011001
2. Arif Wahjudi, ST, MT, Ph.D. (Penguji I)
NIP. 197303222001121001
3. Dinny Harnany, ST, MSc. (Penguji II)
NIP. 2100201405001
4. Bambang Pramujati, MSc. Eng, Ph.D. (Penguji III)
NIP. 196912031994031001



SURABAYA

Juli 2016

PENGUKURAN PENYIMPANGAN DIMENSI DAN GEOMETRIK PUNCH DAN DIE MESIN PRESS HIDROLIK UNTUK PROSES PEMBUATAN SELONGSONG PELURU KALIBER 20MM

Nama Mahasiswa : Deny Prasyamtyo
NRP : 2110100063
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
**Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ing. Ir. I Made
Londen Batan, M.Eng**

ABSTRAK

Sejak tahun 2015, di Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk bekerjasama dengan Laboratorium Otomasi Manufaktur Teknik Mesin FTI ITS telah dirancang dan dibuat mesin press hidrolik yang rencananya akan digunakan untuk proses pembuatan selongsong peluru kaliber 20 mm. Rencana penelitian dari rancangan ini pada tahun 2016 adalah rancang bangun cetakan deep drawing. Pada tahap awal dari rancang bangun cetakan deep drawing ini akan dirancang dan dibuat punch & die. Untuk mengetahui apakah komponen tersebut sudah memenuhi spesifikasi dan fungsi maka setelah dilakukan proses pembuatan, komponen diperiksa dengan cara melakukan pengukuran penyimpangan geometri komponen dengan menggunakan alat ukur yang sesuai.

Pengukuran kelurusan sumbu punch dilakukan dengan menggunakan 1 dial indicator dan digunakan metode linier square untuk mengetahui besar penyimpangannya. Pengukuran kesilindrisan punch dilakukan di atas meja center dengan menggunakan metode bidang radial (radial section method), punch dibagi menjadi 4 bidang radial. Pengukuran kesejajaran die dilakukan di atas meja rata dengan menggunakan dial indicator, pengukuran dilakukan terhadap 2 garis diagonal pada die yang telah ditentukan sebelumnya. Pengukuran ketegaklurusan punch

terhadap meja kerja dilakukan di atas meja rata menggunakan dial indicator diukur pada garis generator yang dibuat pada sisi luar punch. Setiap jenis pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pengukuran.

Pengukuran penyimpangan geometrik ditujukan pada komponen cetakan cup silindris (punch dan die), untuk punch diukur besarnya penyimpangan kelurusan dan kesilindrisan. Untuk die diukur besarnya penyimpangan keseajarannya. Setelah dirakit dilakukan pengukuran penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap referensi atau meja rata. Dari 3 kali pengukuran diambil hasil yang terbesar. Besar penyimpangan kelurusan punch yaitu sebesar 20,1402 μm . Besar penyimpangan kesilindrisan punch bagian A adalah 55 μm dan penyimpangan kebulatan punch pada bagian B sebesar 41 μm . Besar penyimpangan kesejajaran die sebesar 45 μm . Besar penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap datum adalah 21 μm . Berdasarkan hasil pengukuran di atas maka hasil pengukuran dapat diterima karena penyimpangan yang terjadi masih berada diantar batas toleransi yang ditentukan.

Kata Kunci : Deep drawing, penyimpangan geometri, kesilindrisan, kesejajaran, kelurusan, ketegaklurusan.

MEASUREMENT OF DIMENSIONS AND GEOMETRIC DEVIATION PUNCH AND DIE HYDRAULIC PRESS MACHINE FOR 20 MM CALIBER BULLET CASINGS PRODUCTION

Student name : Deny Prasyamtyo
NRP : 2110100062
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Academic advisor : Prof. Dr. Ing. Ir. I Made
Londen Batan, M.Eng.

ABSTRACT

Since 2015, in the Laboratory of Design and Product Development in collaboration with the Laboratory Automation Manufacturing Mechanical Engineering FTI ITS has been designed and manufactured hydraulic press machine is planned to be used for the manufacture of 20 mm caliber bullet casings. Study plan of this design in 2016 is deep drawing mold design. In the early stages of deep drawing mold design will be designed and manufactured punch & die. To determine whether the components meet the specification and its function, after the manufacturing process, the component is checked by means of measuring the geometry deviation component using an appropriate measuring instrument.

Punch axis straightness measurement is done by using one dial indicator and use the least squares method to find out the large deviation. Cylindricity deviation measurements done over the counter punch center using radial section (radial section method), the punch is divided into four radial field. Parallelism die measurements performed on flat table by using a dial indicator, measurements carried out on two diagonal lines in a predetermined die. Perpendicularity punch measurement against the workbench done on a flat table using a dial indicator is measured on a generator line that is made on the outside of the

punch. Each type of measurement performed 3 times measurement.

Measurement of geometric deviations aimed at cylindrical cup mold components (punch and die), measured magnitude of the deviation separately punch straightness and cylindricity. To die is measured deviation value of parallels. After assembly, perpendicularity deviation of punch measured against a reference. From 3 times the measurement taken the greatest results. Straightness deviation of the punch is 20.1402 μm . Cylindricity deviations of the punch section A is 55 μm and roundness deviation punch in part B is 41 μm . Die parallelism deviations is 45 μm . Perpendicularity deviations of punch against datum is 21 μm . Based on the results of the above measurements, the measurement results can be accepted because of deviations that occurred were still ushered specified tolerance limits

Keywords: Deep drawing, geometric deviations, straightness, cylindricity, roundness, parallelism, perpendicularity.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Sifat Umum dari Alat Ukur	5
2.2 Kesalahan/Penyimpangan dalam Proses Pengukuran	11
2.2.1 Penyimpangan yang Berasal dari Alat Ukur	11
2.2.2 Penyimpangan yang berasal dari benda ukur	34
2.2.3 Penyimpangan yang berasal dari posisi Pengukuran	13
2.2.4 Penyimpangan yang berasal dari lingkungan	14
2.2.5 Penyimpangan yang berasal dari operator	14
2.3 Istilah Penting dalam Proses Pengukuran.....	15
2.3.1 Ketelitian	15
2.3.2 Ketepatan	16
2.4 Pemeriksaan penyimpangan ketegaklurusan	18
2.4.1 Pemeriksaan Ketegaklurusan dengan Dial Indicator.....	19

2.4.2 Pemeriksaan Ketegaklurusan dengan Silinder Siku dan Dial Indicator	19
2.5 Pemeriksaan Penyimpangan Kelurusan.....	20
2.6 Pemeriksaan Kesilindrisan	21
2.7 Pemeriksaan Kesejajaran	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2 Tahapan-tahapan Penelitian	28
3.2.1 Studi Literatur dan Lapangan	28
3.2.2 Perumusan Masalah	28
3.2.3 Rancangan Pengukuran	28
3.2.4 Pengukuran Penyimpangan Geometri Punch & Die	29
3.2.5 Analisa Hasil Pengukuran Penyimpangan Geometri Punch & Die Mesin Press	29
3.2.6 Pengukuran Penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap Bed Mesin	29
3.2.7 Kesimpulan dan Saran.....	29
BAB IV PENGUKURAN KOMPONEN.....	31
4.1 Komponen Cetakan Mesin Press Hidrolik yang Diukur	31
4.2 Pengukuran Penyimpangan Kelurusan Punch	33
4.2.1 Punch.....	33
4.2.2 Metode Pengukuran Kelurusan Punch	34
4.2.3 Langkah-langkah Pengukuran Kelurusan Punch.....	34
4.2.4 Hasil Pengukuran Kelurusan Punch dan Analisa.....	35
4.3 Pengukuran Kesilindrisan Punch.....	48
4.3.1 Punch.....	48
4.3.2 Metode Pengukuran Kesilindrisan Punch	48
4.3.3 Langkah-langkah Pengukuran Kesilindrisan ..	49
4.3.4 Hasil Pengukuran Kesilindrisan dan Analisa	50

4.4 Pengukuran Kesejajaran Die	55
4.4.1 Die	55
4.4.2 Metode Pengukuran Kesejajaran Die	57
4.4.3 Langkah-langkah Pengukuran Kesejajaran Die	57
4.4.4 Hasil Pengukuran Kesejajaran Die dan Analisa	58
4.5 Pengukuran Ketegaklurusan Punch terhadap Meja Kerja	60
4.5.1 Susunan Komponen Cetakan Cup Silindris	60
4.5.2 Metode Pengukuran Ketegaklurusan	60
4.5.3 Langkah-langkah Pengukuran Ketegaklurusan	61
4.5.4 Data dan Analisa Hasil Pengukuran Ketegaklurusan Punch terhadap Meja Kerja	62
BAB V PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rangka Mesin Press Hidrlik.....	1
Gambar 1.2	Rangka mesin press hidrolik yang telah dibuat	2
Gambar 2.1	Kecermatan alat ukur.....	7
Gambar 2.2	Histerisis yang ada pada alat ukur (jam ukur)	8
Gambar 2.3	(a) Pengaruh tekanan kontak pada benda ukur yang lunak. (b) Pengaruh tekanan kontak pada benda ukur yang (silinder) yang berdingding tipis.....	13
Gambar 2.4	Kesalahan Kosinus yang seringterjadi pada saat proses pengukuran.....	13
Gambar 2.5	Kemungkinan yang bisa terjadi pada hasil proses pengukuran.....	17
Gambar 2.6	(a) Toleransi ketegaklurusan (b) Pengukuran ketegaklurusan silinder.....	18
Gambar 2.7	Pemeriksaan ketegaklurusan dengan jam ukur (dial indicator)	19
Gambar 2.8	Pemeriksaan ketegaklurusan dengan silinder siku dan dial indicator.....	20
Gambar 2.9	Penyimpangan kelurusan.....	21
Gambar 2.10	Pengukuran penyimpangan kelurusan dengan 1 dial indicator	21
Gambar 2.11	(a) Toleransi kesilindrisan (tampak depan) (b) Tampak isometric.....	22
Gambar 2.12	Pemeriksaan kesilindrisan dengan fixed dan adjustable support.....	23
Gambar 2.13	Pemeriksaan kesilindrisan dengan metode bidang radial	24
Gambar 2.14	Pemeriksaan kesilindrisan dengan metode bidang radial	24

Gambar 2.15	(a) Toleransi keparalelan (b) Pengukuran keparalelan	25
Gambar 2.16	Sinopsis penyimpangan geometrik dan perbandingan dengan toleransi geometrik.....	26
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	27
Gambar 4.1	(a) Punch (b) Die	32
Gambar 4.2	(a) die (b) punch yang telah dibuat.....	33
Gambar 4.3	Posisi pengukuran kelurusan punch.....	33
Gambar 4.4	Skema pengukuran kelurusan punch	35
Gambar 4.5	Formulasi pada lembar editor matlab garis A..	37
Gambar 4.6	Grafik pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi A	38
Gambar 4.7	Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi A.....	38
Gambar 4.8	Formulasi pada lembar editor matlab garis B	40
Gambar 4.9	Grafik pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi B.....	40
Gambar 4.10	Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi B.....	41
Gambar 4.11	Formulasi pada lembar editor matlab garis C .	42
Gambar 4.12	Grafik pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi C.....	43
Gambar 4.13	Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi C.....	43
Gambar 4.14	Formulasi pada lembar editor matlab garis D..	45
Gambar 4.15	Grafik pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi D	45
Gambar 4.16	Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi D.....	46
Gambar 4.17	Posisi pengukuran kesilindrisan	48
Gambar 4.18	Skema pengukuran kesilindrisan punch	50
Gambar 4.19	Grafik pengukuran kesilindrisan punch bidang radial 1,2, & 3+diameter punch.....	53
Gambar 4.20	Grafik pengukuran kebulatan punch bidang radial B+diameter punch geometrik	53

Gambar 4.21	Posisi pengukuran kesejajaran punch	56
Gambar 4.22	Skema pengukuran kerataan die	58
Gambar 4.23	Grafik penyimpangan kesejajaran die	59
Gambar 4.24	Posisi pengukuran ketegaklurusan punch terhadap datum (meja rata)	60
Gambar 4.25	Skema pengukuran ketegaklurusan punch.....	62
Gambar 4.26	(a) Grafik a penyimpangan ketegaklurusan punch garis A&B (b) Grafik penyimpangan ketegaklurusan punch garis C&D	63

DAFTAR TABEL

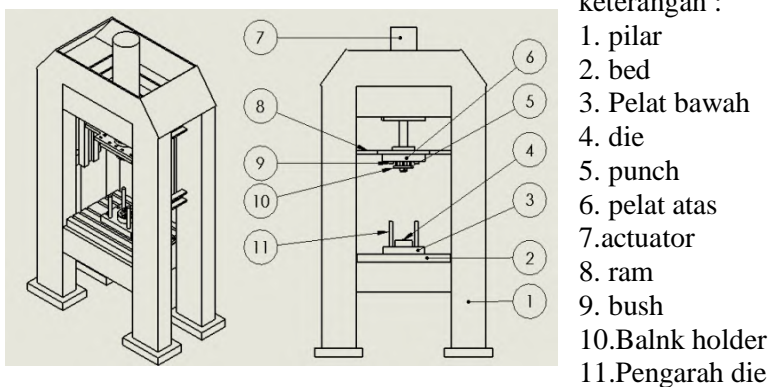
Tabel 4.1	Daftar komponen mesin press yang akan diukur	31
Tabel 4.2	Hasil pengukuran kelurusan punch garis A	36
Tabel 4.3	Hasil pengukuran kelurusan punch garis B	39
Tabel 4.4	Hasil pengukuran kelurusan punch garis C	42
Tabel 4.5	Hasil pengukuran kelurusan punch garis D	44
Tabel 4.6	Hasil penyimpangan kelurusan punch	47
Tabel 4.7	Data hasil pengukuran kesilindrisan bidang radial 1,2,&3 (bagian A)	51
Tabel 4.8	Data hasil pengukuran kesilindrisan bidang radial 1,2, & 3 + radius punch (15500 μm)	51
Tabel 4.9	Data hasil pengukuran kesilindrisan bidang radial B + radius punch (16000 μm)	52
Tabel 4.10	Penyimpangan kesilindrisan dan kebulatan pada punch.....	55
Tabel 4.11	Hasil pengukuran kesejajaran die (pengukuran ke 1)	59
Tabel 4.12	Data hasil pengukuran ketegaklurusan punch (pengukuran ke 1)	62
Tabel 4.13	Data hasil pengukuran ketegaklurusan punch (pengukuran ke 1)	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sejak tahun 2015, Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk bekerjasama dengan Laboratorium Otomasi Manufaktur Teknik Mesin FTI ITS telah merancang dan membuat mesin press hidrolik yang rencananya akan digunakan untuk pembuatan selongsong peluru kaliber 20 mm. Rancangan mesin press tersebut dapat dilihat pada gambar 1.1. Hingga saat ini proses pembuatannya masih terus berjalan, beberapa bagian utama dari mesin press hidrolik yang sudah dibuat adalah frame,udukan actuator, dudukan bed, actuator, bed, dudukan dan pemegang ram, serta ramnya, seperti terlihat pada gambar 1.2



Gambar 1.1 Rancangan mesin press hidrolik

Rencana penelitian rancangan ini pada tahun 2016 adalah rancang bangun cetakan deep drawing dan alat pengumpan blank (raw material). Disamping itu akan dirancang dan dibuat alat dan mekanisme pengeluaran produk cup dengan ejector, pengambil cup hasil proses deep drawing setelah dikeluarkan dari lubang dies. Untuk melengkapi rencana penelitian pada tahun 2016 ini

juga akan dirancang dan dibuat sistem hidrolik dan sistem control gerakan punch.

Pada tahap awal dari rancang bangun cetakan deep drawing ini akan dirancang dan dibuat punch, dies, blank holder, pengarah blank holder, pelat atas, pelat bawah, pengarah dies dan bush. Agar memenuhi fungsinya setelah dilakukan proses pembuatan komponen selanjutnya komponen tersebut perlu diperiksa dengan cara melakukan pengukuran penyimpangan geometri komponen dengan menggunakan alat ukur yang sesuai, terutama pada komponen-komponen yang dibuat yaitu punch, dies, pelat blank holder, poros pegas, pelat atas, dan pelat bawah. Sedangkan komponen yang dibeli dilakukan pemeriksaan secara visual karena merupakan komponen standar.



Gambar 1.2. Rangka mesin press hidrolik yang telah dibuat

Bagian-bagian penting yang perlu dilakukan pengukuran misalnya pelat bawah, bagian ini harus diukur kerataannya, karena akan berpengaruh terhadap posisi dari komponen ataupun dies yang diletakkan diatas pelat atas ini. Selain kerataan permukaannya juga harus dicek posisi atau kesejajaran dengan bed. Bagian lain yang perlu dicek kerataan maupun pemyimpangan goemtriknya adalah pengarah atau ram, posisi

setelah dipasang. Posisi kemiringan dari actuator setelah dipasang pada dudukannya juga diukur untuk mengetahui seberapa besar tingkat kemiringannya. Beberapa bagian diatas perlu diukur dengan teliti agar dapat diketahui seberapa besar penyimpangan yang terjadi baik ukuran, tingkat kerataan permukaan, dan posisi. Karena bagian-bagian tersebut dapat mempengaruhi hasil dari proses deep drawing pembuatan selongsong peluru kaliber 20 mm.

Dari uraian singkat di atas maka pada tugas akhir ini akan dilakukan pemeriksaan penyimpangan geometri komponen cetakan deep drawing dengan alat ukur manual seperti jangka sorong, micrometer, dial indicator, dan alat ukur yang sesuai lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan masalah pada tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana cara mengukur dan berapa besar penyimpangan geometri punch dan die ?
2. Bagaimana cara mengukur dan berapa besar penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap bed mesin press saat terpasang di mesin press ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui cara mengukur punch dan die serta besar penyimpangan geometri komponen tersebut
2. Melakukan pengukuran untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap bed mesin press yang sudah dirakit di mesin press hidrolik

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Komponen mesin press yang diukur adalah : punch dan die

2. Tidak dibahas mengenai proses pembuatan tiap komponen mesin press hidrolik
3. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan dianggap bekerja dengan baik
4. Bed atau meja kerja mesin press hidrolik dianggap datar dan digunakan sebagai referensi pengukuran lainnya.
5. Pengukuran ketegaklurusan dilakukan di atas meja rata

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini :

1. Memperdalam wacana dalam bidang ilmu metrologi khususnya mengenai pengukuran penyimpangan geometri.
2. Memberikan ilmu pengetahuan tentang geometri komponen dan fungsinya

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sifat Umum dari Alat Ukur

Alat ukur merupakan alat yang dibuat oleh manusia, oleh karena itu ketidaksempurnaan merupakan ciri utamanya. Meskipun alat ukur direncanakan dan dibuat dengan cara yang paling saksama, ketidaksempurnaan sama sekali tidak bias dihilangkan. Justru dalam kendala ini alat ukur sering dianggap sebagai cukup baik untuk digunakan dalam suatu proses pengukuran asalkan pengguna memahami keterbatasannya.

Untuk menyatakan sifat-sifat alat ukur maka digunakan istilah-istilah teknik yang sewajarnya harus diketahui guna mencegah timbulnya salah penafsiran. Istilah tersebut antara lain :

a) Rantai kalibrasi

Kalibrasi (peneraan) pada dasarnya serupa dengan pengukuran yaitu membandingkan suatu besaran dengan besaran standar. Dalam kalibrasi yang diukur adalah objek ukur yang diketahui “harga sebenarnya” yang menjadi acuan kalibrasi. Harga sebenarnya adalah harga yang dianggap benar kaitannya dengan “tingkat kebenaran” yang diperlukan oleh alat ukur yang dikalibrasi.

Kalibrasi bukan hanya diwajibkan bagi alat ukur yang telah selesai dibuat tapi juga bagi alat ukur yang telah lama dipakai. Jika suatu prosedur kalibrasi ini dianggap sebagai suatu mata rantai, rantai kalibrasi akan mencakup rangkaian mata rantai sebagai berikut :

- Tingkat 1 : Kalibrasi alat ukur kerja dengan memakai acuan alat ukur standar kerja.
- Tingkat 2 : Kalibrasi alat ukur standar kerja dengan memakai acuan alat ukur standar.
- Tingkat 3 : Kalibrasi alat ukur standar dengan memakai acuan alat ukur standar dengan tingkatan yang lebih tinggi (standar nasional)

- Tingkat 4 : Kalibrasi standar nasional dengan acuan standar meter (internasional).

b) Kecermatan

Kecermatan/resolution alat ukur ditentukan oleh kecermatan skala dengan cara pembacaanya. Bagi skala yang dibaca melalui garis indeks atau jarum penunjuk kecermatan alat ukur sama dengan kecermatan skala yaitu arti jarak antar garis skala. Bila dibaca dengan pertolongan skala nonius (satu atau dua dimensi), kecermatan alat ukur sama dengan kecermatan interpolasi nonius. Jika digunakan penunjuk digital kecermatan alat ukur diwakili oleh angka paling kanan (angka satuan terkecil).

Kecermatan dirancang sesuai dengan rancangan bagian pengubah dan penunjuk alat ukur dengan memperhatikan kepekaan, keterbacaan, dan kapasitas ukur. Kecermatan alat ukur biasanya bersifat tetap tetapi ada juga alat ukur (terutama jenis komparator) yang kecermatannya dapat diatur (adjustable). Alat ukur dengan pengubah elektrik (atau prinsip kerja gabungan dengan isyarat akhir berupa besaran listrik) dengan bagian penunjuk/pencatat elektrik sering dilengkapi dengan attenuator pemilih harga pembesaran. Pembesaran yang dipilih akan mengubah arti jarak antar garis-garis skala (skala pada kertas grafik) sehingga dapat mengubah kecermatan.

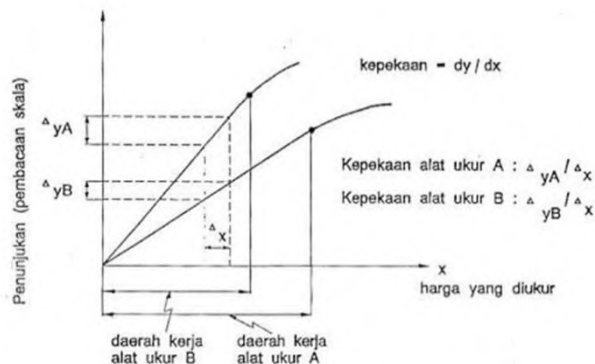
Alat ukur dipilih sesuai dengan kecermatannya yang dikaitkan dengan besaran kecilnya daerah toleransi objek ukur. Prosedur pengukuran perlu diikuti dengan seksama supaya kecermatan alat ukur bermanfaat dan mempunyai makna pada hasil akhir (hasil proses pengukuran) yang dalam hal ini sering dinyatakan dengan istilah ketepatan dan ketelitian.

c) Kepekaan

Kepekaan/sensitivity alat ukur ditentukan terutama oleh bagian pengubah, sesuai dengan prinsip kerja yang diterapkan padanya. Dalam hal ini, kepekaan alat ukur adalah kemampuan alat ukur untuk menerima, mengubah, dan meneruskan isyarat sensor

(dari bagian sensor menuju ke bagian penunjuk, pencatat, atau bagian pengolah data pengukuran).

Tidak semua alat ukur mempunyai kepekaan, misalnya penggaris atau mistar, sebab alat ukur tersebut tak memiliki bagian pengubah. Kepekaan biasa berkaitan dengan kecermatan dan keterbacaan skala alat ukur. Biasanya alat ukur yang mempunyai kecermatan rendah juga mempunyai kepekaan yang rendah. Tetapi tidak selalu demikian, karena skala dapat dibuat dengan pits yang berbeda-beda dapat saja dua alat ukur yang sejenis, A dan B, memiliki kecermatan yang sama tetapi kepekaannya berbeda. Untuk suatu perubahan kecil bagi besaran yang diukur, jika alat ukur A lebih jelas menunjukkan suatu perbedaan jarak gerakan jarum penunjuk dari pada alat ukur B, dikatakan alat ukur A lebih peka (sensitif) daripada alat ukur B.



Gambar 2.1. Kecermatan alat ukur
(Rochim, Taufiq. 2001)

d) Keterbacaan

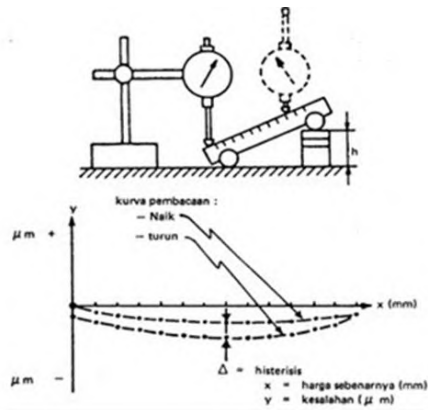
Karena pengamat akan dapat lebih mudah dan cepat membaca hasil pengukuran maka, secara umum, keterbacaan penunjuk digital dikatakan lebih tinggi daripada keterbacaan skala dengan jarum penunjuk, garis indeks atau garris indeks dengan

skala nonius. Istilah keterbacaan dalam metrologi secara khusus lebih dikaitkan pada bagian penunjuk dengan skala.

Bagi alat ukur pada bagian penunjuk skala, keterbacaannya dirancang dengan memperhatikan pits, kepekaan, dan kecermatan. Pits atau jarak fisik antara garis skala yang dibuat tidak terlalu jauh atau terlalu dekat (1 s.d 2 mm) akan memudahkan pengamatan. Dengan membuat garis-garis skala yang tipis serta jarum penunjuk yang tipis dapat menaikkan keterbacaan dalam arti menghindarkan terjadinya keraguan pembacaan.

e) Histerisis

Histerisis adalah perbedaan atau peyimpangan yang timbul sewaktu dilakukan pengukuran secara berkesinambungan dari dua arah yang berlawanan (mulai dari skala nol hingga skala maksimum kemudian diulangi dari skala maksimum sampai skala nol). Histerisis muncul karena adanya gesekan pada bagian pengubah alat ukur.



Gambar 2.2. Histerisis yang ada pada alat ukur (jam ukur)
 (Rochim, Taufiq. 2001)

Pengaruh histerisis dapat dikurangi apabila pengukuran dilakukan sedemikian rupa sehingga hanya bagian kecil skala

alat ukur tersebut saja yang digunakan (perubahan posisi jarum penunjuk diusahakan hanya melewati beberapa garis skala). Oleh sebab itu, pengukuran dengan cara tak langsung sebaiknya dilakukan dengan memilih/mengatur tinggi alat ukur standar (susunan blok ukur) sehingga sama tinggi dengan objek ukur. Bila ada selisih ketinggian, harga yang ditunjukkan komparator akan relatif kecil (hanya dalam beberapa micrometer)

f) Kepasifan/kelambatan reaksi

Jika kepekaan dikaitkan dengan kemampuan menerima, mengolah, dan meneruskan isyarat sensor, kepasifan dikaitkan dengan waktu yang digunakan “perjalanan isyarat” mulai dari sensor sampai penunjuk. Suatu alat ukur dapat memiliki kepekaan tinggi dengan kepasifan yang tinggi atau sebaliknya, sebab antara kepasifan dan kepekaan tak ada keterkaitan.

Kepasifan yang rendah sangat menguntungkan sebab alat ukur cepat reaksinya. Alat ukur, terutama bagian pengubahnya, dirancang dengan memperhatikan hal ini. Suatu kondisi terburuk harus dihindari yaitu kepekaan yang rendah dikombinasikan dengan kepasifan yang tinggi. Dalam hal ini isyarat akibat suatu perubahan kecil yang dideteksi sensor tidak sampai ke bagian penunjuk.

g) Pergeseran

Pergeseran terjadi bila jarum penunjuk atau pena pencatat bergeser dari posisi yang semestinya. Proses pergeseran biasanya berjalan lambat dan pengamat tidak menyadarinya sebab jarum penunjuk atau pena pencatat berfungsi secara dinamik mengikuti perubahan isyarat sensor. Pergeseran bias diamati dengan jelas selama isyarat sensor tidak diubah (sensor diusahakan pada posisi tetap; nol atau harga tertentu) secara perlahan dan pasti posisi jarum penunjuk bergeser kesatu arah. Jadi, pergeseran merupakan suatu penyimpangan yang membesar dengan berjalannya waktu.

Keadaan ini sering dialami oleh alat ukur dengan pengubah dan pencatat elektrik. Karena perubahan temperature (di dalam alat ukur tersebut) dapat mempengaruhi sifat-sifat

komponen elektroniknya yang kualitasnya rendah atau yang mengalami proses degenerasi atau penuaan.

Untuk memastikan bahwa data hasil pengukuran yang diperoleh selama jangka waktu tertentu tidak dicemari oleh pergeseran, sebaiknya dilakukan pengecekan ulang dengan periode tertentu. Dengan mengulang proses pengukuran bagi objek ukur acuan.

h) Kestabilan nol

Jika pergeseran merupakan perubahan yang menyebabkan penyimpangan yang membesar dengan berjalannya waktu, kestabilan nol juga menjadi penyebab penyimpangan tetapi dengan harga yang tetap atau berubah-ubah secara rambang (acak) tak stabil.

Serupa dengan pergeseran, kestabilan nol dapat diperiksa secara periodik dengan melakukan pengukuran ulang dengan menggunakan objek ukur acuan (standar atau yang dipilih) sehingga alat ukur menunjukkan harga acuan. Jika harga ini berubah-ubah secara acak (kadang besar, kecil, positif, negatif, atau tidak ada perubahan) pada setiap kali pengecekan berarti kestabilan nol alat ukur tidak baik.

Bagi sistem pengukuran geometri penyebab ketidakstabilan nol umumnya karena ketidakkakuan sistem pemegang alat ukur dan/atau benda ukur, kelonggaran sistem pengencang, atau keausan sistem pemosisi (alat bantu cekam-posisi; fixtures).

i) Pengambangan/ketidakpastian (floating)

Pengambangan terjadi apabila jarum penunjuk selalu berubah posisinya (bergetar) atau angka terakhir/paling kanan penunjuk digital berubah-ubah. Hal ini disebabkan oleh adanya gangguan (noise) yang menyebabkan perubahan-perubahan kecil yang dirasakan sensor yang kemudian diperbesar oleh bagian pengubah alat ukur. Semakin peka dan cermat alat ukur, kemungkinan terjadinya pengambangan sewaktu proses pengukuran berlangsung adalah besar. Oleh sebab itu alat ukur yang cermat dan peka harus dipakai dengan saksama (hati-hati), getaran pada sistem pengukuran tidak boleh terjadi.

Untuk proses pengukuran geometri berbagai sumber yang menyebabkan kesalahan/penyimpangan bisa berasal dari alat ukur, benda ukur, posisi pengukuran, lingkungan, dan operator.

2.2 Kesalahan/penyimpangan dalam proses pengukuran

Pengukuran merupakan proses yang mencakup tiga hal/bagian yaitu benda ukur, alat ukur, dan pengukur/pengamat. Karena ketidaksempurnaan masing-masing bagian ini ditambah dengan pengaruh lingkungan maka bisa dikatakan bahwa tidak ada satupun pengukuran yang memberikan ketelitian yang absolut. Ketelitian bersifat relative yaitu kesamaan atau perbedaan antara harga hasil pengukuran dengan harga yang dianggap benar, karena yang absolut benar tidak diketahui. Setiap pengukuran, dengan kecermatan yang memadai, mempunyai ketidaktelitian yaitu adanya kesalahan yang bisa berbeda-beda, tergantung pada kondisi alat ukur, benda ukur, metoda pengukuran, dan kecakapan si pengukur. Apabila suatu pengukuran, dengan kecermatan yang memadai diulang untuk ke dua, ke tiga dan seterusnya untuk n kali pengukuran yang identik (sama), hasilnya tidak selalu tepat/sama, mereka kurang lebih akan tersebar disekitar harga rata-ratanya.

2.2.1 Penyimpangan yang berasal dari alat ukur

Alat ukur yang digunakan harus mendapatkan tera teliti. Dengan demikian, proses pengukuran akan bebas dari penyimpangan yang merugikan yang biasanya berasal atau bersumber dari alat ukur. Apabila alat ukur sering dipakai dan belum dikalibrasi ada kemungkinan timbul sifat-sifat yang merugikan seperti histerisis, kepasifan, pergeseran dan kestabilan nol yang jelek.

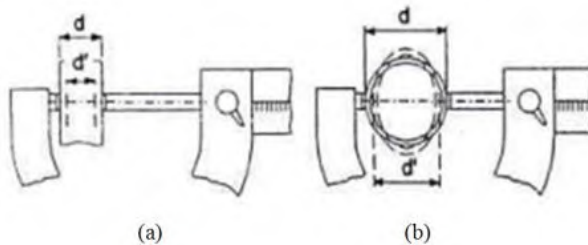
Kesalahan atau penyimpangan sistematik dalam proses pengukuran dapat bersumber dari alat ukur. Keausan bidang kontak sensor mekanik merupakan contoh sederhana yang dapat diketahui dengan mudah dengan memeriksa posisi nol. Misalnya, jika sensor gerak micrometer berkapasitas 0-25 mm, ditempelkan

pada sensor tetap (rahang ukur dikatupkan), saat itu garis indeks untuk pembacaan “kasar dan halus” pada skala micrometer harus menunjukkan nol. Jika tidak menunjukkan nol berarti ada penyimpangan yang menjadi sumber kesalahan sistematis. Kesalahan jenis ini dapat diperbaiki dengan cara menyetel garis indeks “pembacaan halus”. Micrometer berkapasitas 25-50 mm ke atas, dan berbagai jenis alat ukur lainnya umumnya dilengkapi dengan caliber penyetel posisi nol (harga acuan tidak selalu angka nol).

2.2.2 Penyimpangan yang berasal dari benda ukur

Setiap benda elastic akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk apabila ada beban yang bereaksi padanya. Beban ini dapat disebabkan oleh tekanan sensor kontak alat ukur, berat benda ukur sendiri yang diletakkan diantara tumpuan, dan tekanan penjepit penahan benda ukur seperti terlihat pada gambar 2.3. Meskipun harga deformasi ini dianggap kecil dan sering diabaikan dalam perhitungan kekuatan, dalam hal pengukuran geometri yang cermat membuat deformasi ini menjadi bermakna untuk diperhitungkan dan dapat menjadi sumber kesalahan sistematis.

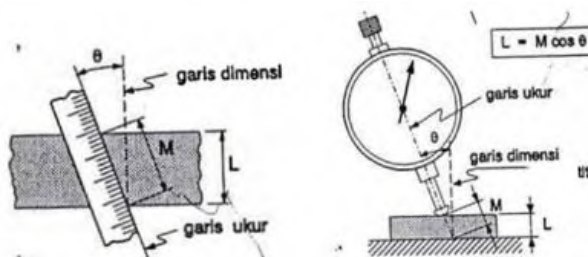
Supaya perubahan dimensi dapat dirasakan, sensor-sensor perlu memberikan tekanan pada permukaan objek ukur. Tekanan kontak ini dirancang dan diusahakan seringan mungkin dan tak berubah-ubah. Deformasi karena tekanan pengukuran dapat dihilangkan jika digunakan sensor non kontak misalnya jenis optik atau pneumatic. Saat pengukuran berlangsung, benda ukur tak boleh bergerak pada arah yang sama dengan garis pengukuran (garis dimensi objek ukur). Untuk memastikan hal ini, dalam beberapa kasus diperlukan alat pemegang benda ukur (pencekam, penjepit). Karena penjepit juga memberikan tekanan pada benda ukur, maka posisi penjepit harus ditentukan sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan deformasi yang merugikan.



Gambar 2.3 (a) Pengaruh tekanan kontak pada benda ukur yang lunak. (b) Pengaruh tekanan kontak pada benda ukur yang (silinder) yang berdinding tipis (Rochim, Taufiq. 2001)

2.2.3 Penyimpangan yang berasal dari posisi pengukuran

Prinsip ABBE: garis ukur harus berhimpit dengan garis dimensi. Bagi pengukuran objek ukur geometri prinsip ABBE sedapat mungkin diikuti. Apabila garis ukur, yaitu garis dimana skala ukur dibuat atau garis gerakan sensor, tidak berhimpit dengan garis dimensi objek ukur melainkan membuat sudut sebesar teta, hasil pengukuran akan lebih besar daripada dimensi sebenarnya. Semakin besar sudut teta kesalahan ini akan membesar sesuai dengan membesarnya sisi miring pada segitiga siku-siku mengikuti rumus kosinus. Oleh karena itu kesalahan ini sering disebut sebagai kesalahan kosinus, seperti yang terlihat pada gambar 2.4 berikut ini :



Gambar 2.4. Kesalahan Kosinus yang sering terjadi pada saat proses pengukuran (Rochim, Taufiq. 2001)

2.2.4 Penyimpangan yang Berasal dari Lingkungan

Lingkungan harus memberikan kenyamanan bagi pengukur. Jika persyaratan ini terpenuhi, pada umumnya akan memenuhi persyaratan yang diminta alat ukur dan benda ukur.

- Kebersihan merupakan hal yang penting yang diperlukan alat ukur dan benda ukur. Debu, serpihan geram dipermukaan benda ukur akan dirasakan oleh sensor alat ukur, dapat menyebabkan kesalahan dan kerusakan pada sensor alat ukur tersebut.
- Tingkat kebisingan yang rendah : getaran lemah yang tak menimbulkan kebisingan pun tidak disenangi oleh alat ukur cermat dan peka sebab dapat menimbulkan pengambangan (ketidakpastian, floating)
- Pencahayaan yang mencukupi; supaya operator mampu melaksanakan pengukuran dan membaca hasil pengukuran dengan baik.
- Temperatur 25-27⁰ C, kelembaban 70-75 %

2.2.5 Penyimpangan yang Berasal dari Operator

Dua orang yang melakukan pengukuran secara pergantian dengan menggunakan alat ukur dan benda ukur serta kondisi lingkungan yang dianggap tak berubah mungkin menghasilkan data yang berbeda. Sumber perbedaan ini dapat berasal dari cara mereka mengukur yang dipengaruhi oleh pengalaman, keahlian, kemampuan, dan keterampilan serta perangai masing-masing pengukur. Pengukuran adalah suatu pekerjaan yang memerlukan kesamaan.

Dengan demikian, orang yang pekerjaannya melakukan pengukuran harus :

- Mempunyai pengalaman praktek yang didasari teori yang mendukung penguasaan pengetahuan akan proses pengukuran. Hal ini bisa dicapai lewat pelatihan metrology industry dan dipelihara, dimantapkan, serta dikembangkan lewat pekerjaan yang berkesesuaian.

- Mempunyai dasar-dasar pengetahuan akan alat ukur, cara kerja alat ukur, cara pengukuran, cara mengkalibrasi dan memelihara alat ukur.
- Waspada akan kemungkinan letak sumber penyimpangan dan tahu bagaimana cara mengeliminir (mengurangi sampai sekecil mungkin sehingga praktis dapat diabaikan) pengaruhnya terhadap hasil pengukuran.
- Mampu menganalisis suatu persoalan pengukuran yakni dalam membaca acuan kualitas menentukan cara pengukuran sesuai dengan tingkat kecermatan yang dikehendaki, memilih alat ukur dan kemudian melaksanakan pengukuran dengan kesaksamaan dan kedisiplinan tinggi.
- Sadar bahwa hasil pengukuran adalah sepenuhnya merupakan tanggung jawabnya dalam perwujudan cara kerja kelompok dengan penekanan tugas dan tanggungjawab.

2.3 Istilah Penting dalam Proses Pengukuran

2.3.1 Ketelitian

Ketelitian/accuracy merupakan hasil pengusahaan proses pengukuran supaya mencapai sasaran pengukuran yaitu penunjukan harga sebenarnya objek yang diukur. Jika objek ukur merupakan harga acuan yang dianggap benar, seperti yang dipakai dalam proses kalibrasi, perbedaan antara harga yang ditunjukkan alat ukur dengan harga yang dianggap benar dinamakan sebagai penyimpangan. Untuk mendefinisikan penyimpangan diperlukan toleransi penyimpangan (kesalahan) yaitu besar kecilnya penyimpangan yang masih diperbolehkan sesuai dengan spesifikasi yang dinyatakan dalam standar pengkalibrasian. Dua kategori penyimpangan adalah :

- a. Penyimpangan rambang (acak; random deviation) jika penyimpangan tidak melebihi kecermatan sasaran (besarnya toleransi sasaran). Predikat atau tanda (tera) teliti dapat diberikan pada alat ukur yang bersangkutan.

- b. Penyimpangan sistematis (systematic deviation) jika penyimpangan melebihi kecermatan sasaran. Tera teliti tidak bisa diberikan pada alat ukur yang bersangakutan.

Jika alat ukur dengan tera teliti dipakai dengan benar, hasil pengukuran dapat dikatakan sebagai harga sebenarnya objek ukur sesuai dengan kecermatan alat ukur. Selanjutnya bila harga sebenarnya objek ukur tersebut berada dalam daerah toleransi kesalahan seperti yang dinyatakan dalam gambar teknik (sasaran ditetapkan), berarti objek yang diukur tersebut dalam kategori baik kualitasnya (kualitas geometri, kualitas material, kualitas proses dan sebagainya sesuai dengan jenis besaran yang diukur dan tujuan pengukuran).

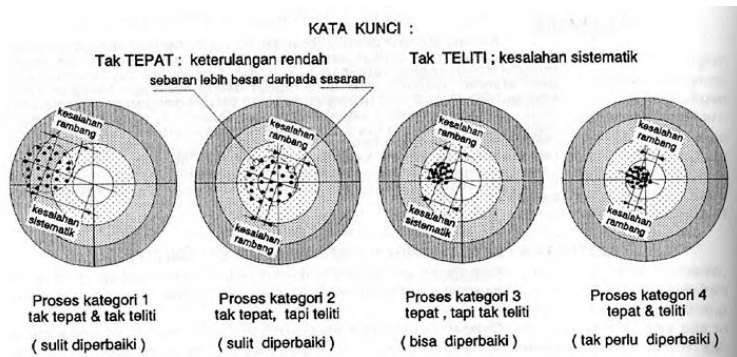
2.3.2 Ketepatan

Ketepatan (precision, repeatability) merupakan kewajaran proses pengukuran untuk menunjukkan hasil yang sama jika pengukuran diulang secara identik. Dengan kecermatan alat ukur yang memadai, hasil pengukuran yang diulang secara identik akan menghasilkan harga-harga yang menyebar di sekitar harga rata-ratanya. Semakin mengumpul atau semakin dekat harga-harga tersebut dengan harga rata-ratanya, proses pengukuran memiliki ketepatan yang tinggi.

Secara matematik tinggi redahnya ketepatan dapat didefinisikan dengan memanfaatkan parameter deviasi standar untuk menghitung selang kepercayaan dengan dua batas. Karena harga rata-rata merupakan titik tengah maka jarak antara harga rata-rata ke salah satu batas dapat dinamakan sebagai penyimpangan rambang.

Bagi istilah ketelitian diperlukan target atau sasaran pengukuran, sementara itu bagi istilah ketepatan tidak harus dikaitkan dengan target. Dengan demikian istilah benar atau salah dalam hal ketepatan sebetulnya tidak bisa didefinisikan. Ketepatan lebih menekankan pada kewajaran (dalam bertindak sesuai wataknya; sulit diperbaiki) sementara ketelitian

menekankan pada kesungguhan (dalam mengarahkan; cukup dengan memberitahu letak sasaran).



Gambar 2.5 Kemungkinan yang bisa terjadi pada hasil proses pengukuran
(Rochim, Taufiq. 2001)

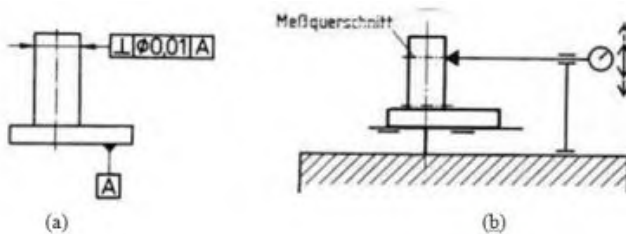
Jika istilah ketepatan dikaitkan pada target, mau tidak mau istilah ketelitian akan muncul mengikutinya. Bila daerah toleransi dinyatakan sebagai daerah sasaran dan harga nominal objek ukur adalah titik tengah daerah sasaran, seperti terlihat pada gambar 2.5 di atas, ada empat kemungkinan yang bisa terjadi mengenai hasil pengukuran yaitu :

1. Proses pengukuran yang tak tepat dan tak teliti; jika keterulangannya rendah (sebarannya lebih besar daripada luas daerah sasaran) dan harga rata-ratanya (titik tengah usaha pengulangan) terletak jauh dari titik tengah daerah sasaran. Seluruh atau kebanyakan hasil pengukuran terletak diluar daerah sasaran.
2. Proses pengukuran yang tak tepat tapi teliti; jika keterulangannya rendah dengan harga rata-ratanya terletak pada atau di dekat titik tengah daerah sasaran. Meskipun demikian, cukup banyak hasil pengukuran yang terletak di luar daerah sasaran.

3. Proses pengukuran yang tepat tapi tak teliti; jika keterulungannya tinggi tetapi harga rata-ratanya terletak jauh dari titik tengah daerah sasaran sedemikian rupa sehingga kebanyakan hasil pengukurannya terletak di luar daerah sasaran.
4. Proses pengukuran yang tepat dan teliti; jika keterulungannya tinggi dan bersamaan dengan itu harga rata-ratanya terletak pada atau di dekat titik tengah daerah sasaran. Semua atau hampir semua harga pengukuran terletak di dalam daerah sasaran.

2.4 Pemeriksaan penyimpangan ketegaklurusan

Ketegaklurusan adalah sebuah kondisi dimana dua buah garis atau bidang yang berpotongan membentuk sudut 90^0 . Ketegaklurusan merupakan kriteria yang penting dalam proses pengukuran maupun proses pembuatan komponen mesin. Ketegaklurusan benda biasanya diwakili dengan adanya daerah toleransi, dimana jika penyimpangan ketegaklurusan masih berada dalam daerah toleransi tersebut, berarti benda tersebut masih dapat dikatakan tegak lurus terhadap permukaan alas atau datum .



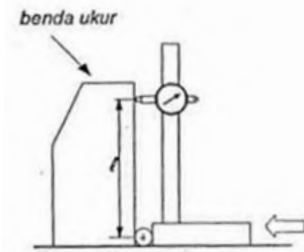
Gambar 2.6. (a) Toleransi ketegaklurusan (b) Pengukuran ketegaklurusan silinder
(Aberle, Wolfgang. 1990)

Jika suatu sisi permukaan benda tersebut memiliki kontur yang tidak rata, maka penyimpangan diambil dari kontur yang

memiliki penyimpangan terbesar dikurangi dengan permukaan yang memiliki penyimpangan terkecil. Jika nilai penyimpangan tersebut masih berada dalam batas toleransi yang diijinkan maka benda tersebut masih tegak lurus terhadap permukaan atau datum, seperti terlihat pada gambar 2.6.

2.4.1 Pemeriksaan Ketegaklurusan dengan Dial Indicator

Pemeriksaan ketegaklurusan dengan dial indicator menitik beratkan pada perubahan skala ukur yang ditunjukkan oleh jarum penunjuknya. Gambar 2.7 menunjukkan salah satu cara memeriksa ketegaklurusan benda ukur dengan dial indicator. Posisi benda ukur dan dial indicator diletakkan sedemikian rupa sehingga memudahkan untuk melakukan pengukuran. Antara landasan dial indicator dengan muka ukur diberi rol atau bola baja untuk mendapatkan jarak ukur yang tetap pada waktu benda ukur diputar 180° . Sebelum benda ukur diputar, sebaiknya posisi jarum penunjuk dial indicator berada pada posisi nol guna memudahkan pembacaan selanjutnya. Setelah benda ukur diputar 180° maka dapat dilihat perubahan harga yang ditunjukkan oleh jarum.



Gambar 2.7. Pemeriksaan ketegaklurusan dengan jam ukur (*dial indicator*)
(Rochim, Taufiq. 2001)

2.4.2 Pemeriksaan Ketegaklurusan dengan Silinder Siku dan Dial Indicator

Pemeriksaan penyimpangan ketegaklurusan di sini hanyalah membandingkan ketegaklurusan dari benda ukur dengan

silinder siku sebagai master siku dan dibantu dengan dial indicator. Secara sederhana pemeriksaan ketegaklurusan dengan perbandingan silinder siku.

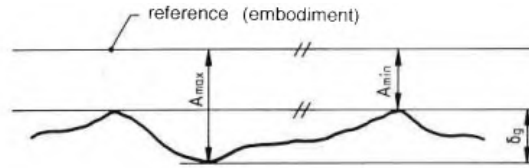
Semua peralatan ukur dan benda ukur diletakkan di atas meja rata. dial indicator diletakkan sedemikian rupa terhadap silinder siku dengan perantara sebuah rol atau bola baja. Posisi jarum penunjuk sebaiknya pada posisi nol. Kemudian silinder siku dipindahkan dan digantikan dengan benda ukur. Seperti terlihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8. Pemeriksaan ketegaklurusan dengan silinder siku dan dial indicator
(Rochim, Taufiq. 2001)

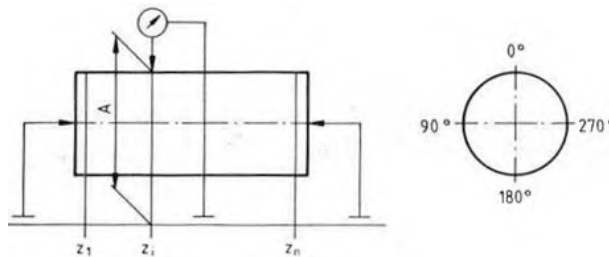
2.5 Pemeriksaan Penyimpangan Kelurusan

Kelurusan adalah suatu kondisi dimana elemen permukaan atau garis sumbu merupakan sebuah garis lurus. Kelurusan dari sebuah elemen yang diberi toleransi dianggap benar jika jarak dari titik-titik ke bidang yang mempunyai bentuk geometris ideal adalah sama atau lebih kecil dari harga toleransi yang ditentukan. Penyimpangan garis pada permukaan benda ukur terhadap garis lurus referensi mempunyai kondisi yaitu garis referensi tidak memotong (tetapi bisa menyentuh) garis benda ukur. Penyimpangan kelurusan (δ_d) berdasarkan ISO 1101 adalah perbedaan antara jarak terkecil dan terbesar antara garis benda ukur dengan garis referensi.



Gambar 2.9. Penyimpangan kelurusan
(Gooldy, Gary. 1995)

Pengukuran penyimpangan kelurusan dapat dilakukan dengan berbagai cara dan tergantung dari elemen bentuk yang diberi toleransi. Metode pengukuran dengan dial indicator untuk pemeriksaan penyimpangan kelurusan sumbu ditunjukkan oleh gambar 2.10. Benda ukur diletakkan ditengah-tengah (dalam sumbu pusat posisi pengukuran z_1 dan z_n). Setiap posisi pengukuran koordinat pusat ditentukan dengan cara menyentuh sensor atau probe ke permukaan silinder (probing) pada posisi sudut 0° , 90° , 180° dan 270° . Kemudian disajikan dalam diagram polar, diameter lingkaran terkecil yang menyelubungi titik pusat dari seluruh bidang potong adalah sama dengan penyimpangan kelurusan.



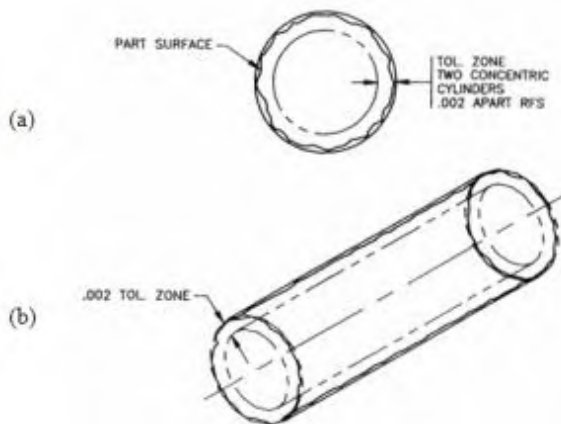
Gambar 2.10. Pengukuran penyimpangan kelurusan dengan 1
dial indicator
(Henzold, G. 1995)

2.6 Pemeriksaan Kesilindrisan

Kesilindrisan adalah kontrol bentuk permukaan 3 dimensi yang secara bersamaan merupakan batas atau limit dari kebulatan,

kelurusan dan ketaperan permukaan atau permukaan yang harus dipenuhi. Ciri dari kontrol permukaan umumnya terdiri dari sebuah simbol kesilindrisan dan sebuah toleransi geometri. Tidak memiliki datum, simbol diameter atau kondisi material cocok diletakkan di dalam ciri kontrol permukaan.

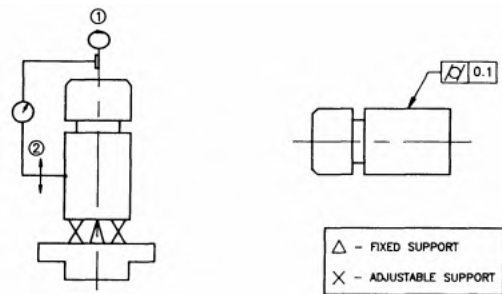
Ciri dari kesilindrisan yang sempurna yaitu akan mempunyai beberapa elemen permukaan yang mempunyai jarak yang sama terhadap sumbu umumnya. Dalam proses pemeriksaan kita sering mencoba untuk menstabilkan sebuah sumbu yang akan digunakan untuk memutar feature permukaan saat pengukuran atau pemeriksaan (sebagai contoh dengan sebuah dial indicator) untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan dip atau benjolan, barrel, dan taper. Kesilindrisan merupakan kontrol geometrik yang mempunyai banyak kemiripan dengan kebulatan. Keduanya memiliki karakteristik geometri (tidak memiliki datum), tidak menggunakan simbol kondisi material. Keduanya merupakan kontrol permukaan dan harus mempunyai toleransi yang lebih kecil dari toleransi ukuran.



Gambar 2.11.(a) Toleransi kesilindrisan (tampak depan) (b)
Tampak isometric
(Meadows, James D. 1995)

Seperti terlihat pada gambar 2.11, kesilndrisan merupakan sebuah kontro permukaan 3 dimensi yang mengontrol kebulatan, kelurusan dan tepor atau pengerucutan dari permukaan tersebut. Daerah toelransi terdiri dari 2 buah silinder koaksial yang berbeda diameter dengan jarak tertentu. Pits atau lekukan di permukaan tidak boleh lebih dalam dari .002 begitu juga dengan penyimpangan yang lainnya.

Pemeriksaan kesilindrisan dapat dilakukan dengan banyak cara, pemeriksaan dapat dilakukan dengan menggunakan fixed and adjustable supports yang digunakan mengorientasiakan komponen sehingga sumbu benda akan tepat pada sumbu rotating spindle yang dilengkapi dengan arm sebagai tumpuan atau pemegang dial indicator. Pemeriksaan benda yang diukur dengan cara memutar spindle bergerak naik atau turun dengan kontak permukaan benda yang diukur menyentuh sensor dari dial indicator. Toleransi atau penyimpangan kesilindrisan tidak boleh melebihi toleransi yang ditentukan untuk menyatankan bahwa komponen yang diukur telah lolos inspeksi.

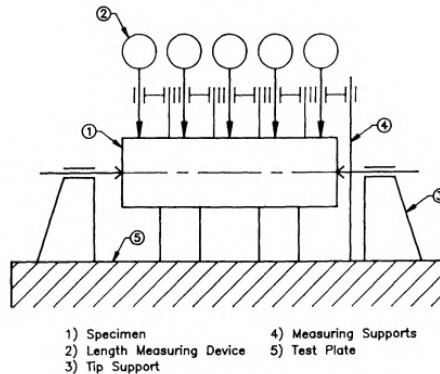


Gambar 2.12. Pemeriksaan kesilindrisan dengan fixed dan adjustable support
(Meadows, James D. 1995)

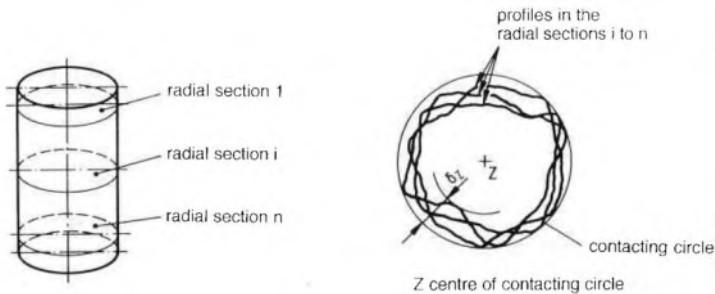
Untuk mengecek kesilindrisan probe akan bergerak naik dan turun bersamaan dengan diputar 360 derajat. Saat proses ini dilakukan, sebuah drawing record yang telah membaca hasil

pengukuran permukaan akan menuangkannya ke dalam bentuk grafik. Dengan begitu akan diketahui apakah penyimpangan kesilindrisan melebihi batas toleransi yang ditentukan atau tidak.

Selain itu kesilindrisan dapat diukur dengan sebuah alat pengukuran multikoordinat dengan bantuan metode bidang radial.



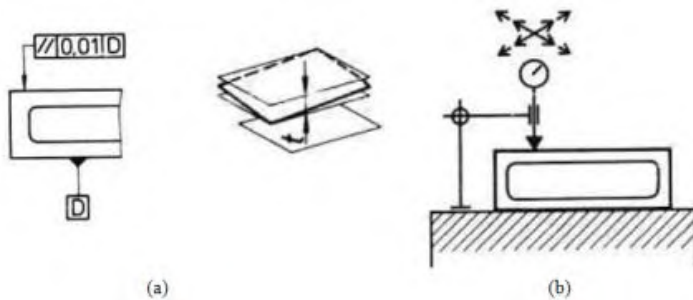
Gambar 2.13. Pemeriksaan kesilindrisan dengan metode bidang radial
(Meadows, James D. 1995)



Gambar 2.14. Pemeriksaan kesilindrisan dengan metode bidang radial
(Henzold, G. 1995)

2.7 Pemeriksaan Kesejajaran

Kesejajarannya adalah kondisi dimana permukaan atau garis dari suatu bidang equidistant atau sejajar di semua titik terhadap datum yang telah ditentukan. Zona toleransi keparalelan adalah jarak antara 2 bidang atau garis paralel yang dibatasi oleh nilai tertentu dan keduanya paralel terhadap bidang datum. Pengukuran dapat dilakukan di atas meja rata dengan menggunakan dial indicator seperti terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15.(a) Toleransi keparalelan (b) Pengukuran keparalelan
(Aberle, Wolfgang. 1990)

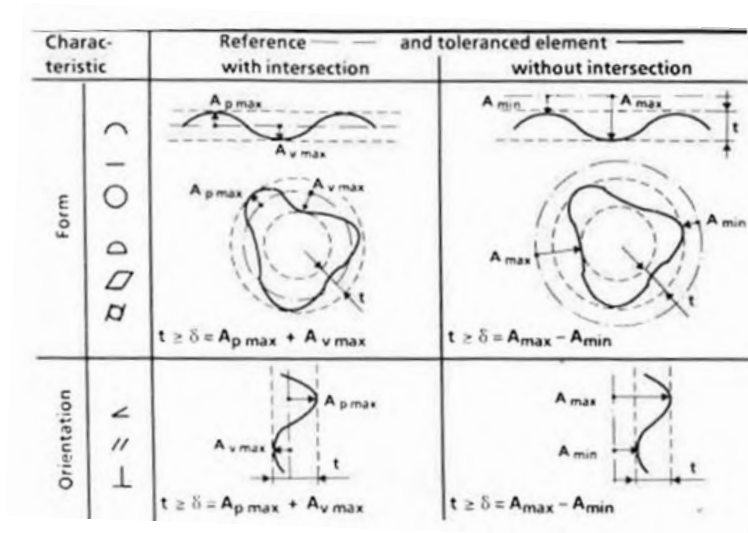
Pemeriksaan penyimpangan kesejajaran dapat dilakukan dengan pengukuran jarak, penyimpangan kesejajaran adalah selisih antara jarak terbesar (A_{\max}) dan jarak terkecil (A_{\min}) yang dapat dibaca oleh dial indicator dari elemen bentuk benda ukur terhadap meja datuh atau solid angle, dimana penyimpangan kesejajaran yang terjadi tidak melebihi toleransi yang ditentukan. $\delta_d = A_{\max} - A_{\min} \leq t_d$. Seperti terlihat pada gambar 2.14 untuk toleransi orientasi.

Keterangan : δ_d : Penyimpangan kesejajaran

A_{\max} : Penyimpangan terbesar

A_{\min} : Penyimpangan terkecil

t_d : Toleransi kesejajaran yang ditentukan

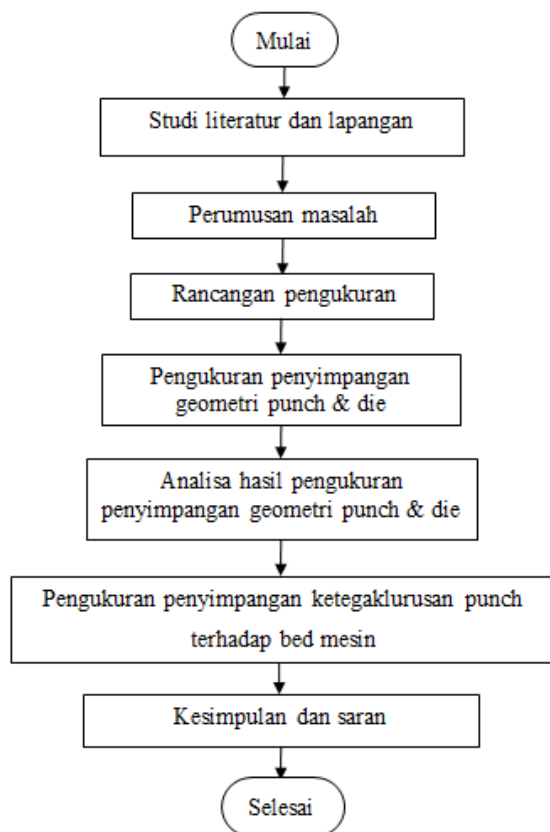


Gambar 2.16. Sinopsis penyimpangan geometrik dan perbandingan dengan toleransi geometrik (Henzold, G. 1995)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Untuk menjelaskan langkah- langkah penelitian agar lebih sistematis, maka dibuat diagram alir penelitian seperti terlihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2 Tahapan-tahapan Penelitian

3.2.1 Studi Literatur dan Lapangan

Sebelum melakukan proses pengukuran penyimpangan geometri punch & die mesin press, dilakukan studi literatur dari berbagai referensi (buku), beberapa Tugas Akhir mahasiswa, buku maupun diktat yang berhubungan dengan pengukuran penyimpangan geometri dan alat ukur.

3.2.2 Perumusan Masalah

Pada tahapan ini dilakukan perumusan masalah yang menjadi bahasan dalam Tugas Akhir, hal ini didasarkan atas uraian pada latar belakang :

- a. Bagaimana cara mengukur komponen-komponen cetakan deep drawing dan berapa besar penyimpangan geometri komponen cetakan mesin press tersebut
- b. Bagaimana cara melakukan pengukuran dan berapa besarnya penyimpangan geometri punch terhadap bed mesin press saat terpasang di mesin press

3.2.3 Rancangan Pengukuran

Pada tahapan ini akan ditentukan metode pengukuran dan alat ukur yang digunakan pada proses pengukuran penyimpangan geometri pada bagian-bagian dari mesin press hidrolik.

1) Metode pengukuran

Metode pengukuran langsung akan dilakukan pada beberapa komponen mesin press hidrolik yang telah dibuat pada proses sebelumnya. Baik pengukuran geometri dari beberapa komponen maupun posisi bagian tertentu setelah dilakukan perakitan.

2) Alat ukur yang digunakan

Alat ukur yang akan digunakan pada pengukuran penyimpangan geometrik komponen-komponen mesin press hidrolik adalah alat ukur yang dapat digunakan, seperti dial indicator, mistar siku, bevel protactor dan sebagainya sesuai

kebutuhan pengukuran di lapangan. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Proses Manufaktur Jurusan Teknik Mesin ITS

3.2.4 Pengukuran Penyimpangan Geometri Punch & Die

Pada tahap ini akan dilakukan pengukuran penyimpangan geometri punch & die mesin press hidrolik yang telah dibuat pada proses sebelumnya. Beberapa hal yang akan dilakukan pada tahap ini antara lain :

- 1) Persiapan (table pengukuran)
- 2) Persiapan alat ukur
- 3) Pelaksanaan pengukuran
- 4) Pencatatan data hasil pengukuran

3.2.5 Analisa Hasil Pengukuran Penyimpangan Geometri Punch & Die Mesin Press

Pada tahapan ini akan dilakukan analisa data hasil pengukuran penyimpangan geometri punch & die cetakan mesin press hidrolik. Jika hasil pengukuran dirasa sudah cukup memenuhi spesifikasi atau lebih kecil dari toleransi yang ditentukan maka dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya seperti melakukan control terhadap material feeding dan sebagainya.

3.2.6 Pengukuran Penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap Bed Mesin

Pada tahapan ini akan dilakukan pengukuran pada punch yang telah terpasang pada mesin press hidrolik dengan posisi punch sedikit masuk ke dalam lubang dies. Pengukuran dilakukan sepanjang punch untuk mengetahui dan mendapat data besar penyimpangan ketegaklurusan yang terjadi pada punch terhadap bed mesin press hidrolik.

3.2.7 Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian ini dapat disimpulkan factor-faktor yang mempengaruhi ketegaklurusan, seberapa besar penyimpangan ketegaklurusan yang terjadi anatar punch dengan dies maupun

bed serta mendapatkan hasil pengukuran ketegaklurusan yang tepat sehingga tahap pengembangan selanjutnya dapat dilakukan .

BAB IV PENGUKURAN KOMPONEN

4.1 Komponen Cetakan Mesin Press Hidrolik yang Diukur

Sesuai dengan gambar 1.1 komponen-komponen cetakan mesin press hidrolik yang akan diukur penyimpangan geometriknya pada penelitian ini yaitu :

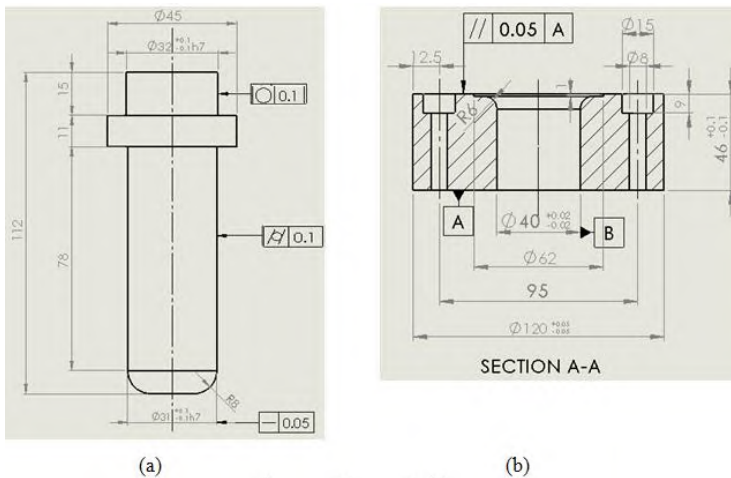
Tabel 4.1. Daftar komponen mesin press yang akan diukur.

No	Nama Komponen	Dimensi(mm)	Keterangan
1	Pelat atas	250x180x34	Diukur *
2	Pelat bawah	250x180x34	Diukur *
3	Guide bush	Ø 42, p : 80	Standar (tidak diukur)
4	Pegas blank holder	Ø 13	Standar (tidak diukur)
5	Guide pin	Ø 30, p : 170	Standar (tidak diukur)
6	Dies	Ø 120, t : 46	Diukur
7	Punch	Ø 31, p : 112	Diukur
8	Pelat blank holder	Ø 120, t : 15	Diukur *
9	Pelat Punch holder	Ø 120, t : 17	Diukur *
10	Poros pegas	Ø 9, p : 91	Diukur *

Keterangan : * tidak diukur pada tugas akhir ini.

Untuk komponen-komponen standar hanya diperiksa secara visual, karena diasumsikan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Namun pada tugas akhir ini yang dibahas adalah pengukuran penyimpangan geometrik punch dan die yang rancangannya dapat dilihat pada gambar 4.1.

Kedua komponen tersebut merupakan komponen utama cetakan cup silindris mesin press hidrolik, *punch* dan *die* mempunyai fungsi yang penting dalam proses deep drawing atau pembentukan blank material menjadi berbentuk cup, kedua komponen tersebut memiliki kontak langsung dengan blank material saat proses deep drawing berlangsung. Untuk menghasilkan produk atau hasil cup yang baik maka penyimpangan geometrik dari kedua komponen seharusnya lebih kecil atau sama dengan toleransi geometrik yang diberikan.



Gambar 4.1. (a) Punch (b) Die

Untuk mengetahui apakah komponen cetakan cup silindris mesin press hidrolik yang telah dibuat sesuai dengan spesifikasi dan fungsi yang telah ditentukan, maka dilakukan pemeriksaan dan pengukuran pada komponen-komponen tersebut. Setelah dilakukan pengukuran penyimpangan geometrik pada punch dan die selanjutnya data hasil pengukuran yang dicatat pada tabel disajikan dalam bentuk grafik dan dianalisa besar penyimpangan geometriknya sehingga diketahui besar penyimpangan geometrik pada kedua komponen ini.



(a)

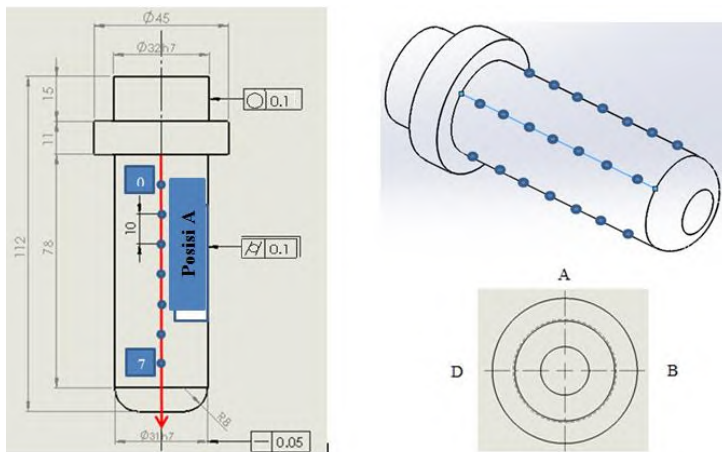
(b)

Gambar 4.2 (a) die (b) punch yang telah dibuat

4.2 Pengukuran Penyimpangan Kelurusan Punch

4.2.1 Punch

Besar toleransi kelurusan yang diberikan oleh perancang adalah 0.05 mm atau 50 μm . Punch dianggap telah memenuhi spesifikasi jika besarnya penyimpangan kelurusan yang terdapat pada punch lebih kecil atau sama dengan 50 μm .



Gambar 4.3. Posisi pengukuran kelurusan punch

4.2.2 Metode Pengukuran kelurusan Punch

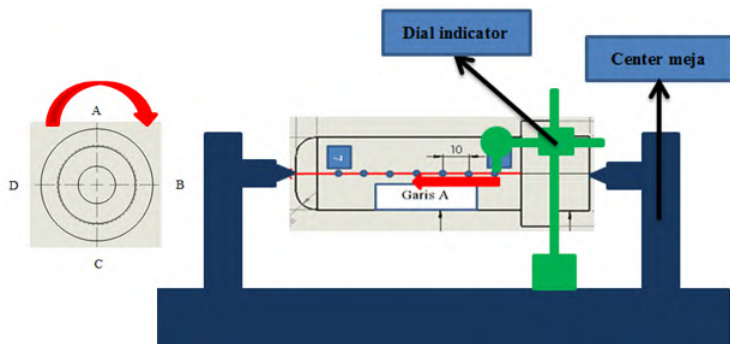
Pengukuran kelurusan punch dilakukan dengan menggunakan 1 dial indicator dengan kecermatan 0,001 mm. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur permukaan atau bagian terluar dari diameter punch. Punch dibagi menjadi 4 buah garis (A-D), tiap garis dibagi menjadi 7 titik pengukuran dengan jarak antar titik sebesar 10 mm. Pengukuran pada tiap garis dilakukan sebanyak 3 kali. Data hasil pengukuran dianalisa penyimpangan geometriknya dengan menggunakan metode least square untuk mengetahui apakah besar penyimpangan kelurusan yang terjadi melebihi besar toleransi kelurusan yang ditentukan atau tidak. Data hasil pengukuran penyimpangan kelurusan akan diplot ke dalam bentuk grafik line, dari data pengukuran akan diketahui seberapa besar penyimpangan kelurusan pada punch dengan mengurangi penyimpangan terbesar dengan penyimpangan terkecil. Penyimpangan kelurusan yang didapat dibandingkan dengan toleransi kelurusan yang diberikan oleh perancang, jika penyimpangan kelurusan \leq toleransi kelurusan maka komponen yang dibuat sudah baik dan memenuhi spesifikasi yang ditentukan oleh perancang.

4.2.3 Langkah – langkah Pengukuran Kelurusan Punch

Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran kelurusan punch :

1. Persiapan alat ukur dan komponen punch yang akan diukur
2. Permukaan punch dibagi menjadi 4 buah garis ke arah memanjang dan tiap garis terdiri dari 7 titik pengukuran
3. Memposisikan punch pada center meja
4. Mengatur posisi sumbu punch terhadap sumbu pencekam pada center meja
5. Meletakkan dan mengatur posisi dial indicator pada center meja
6. Menyentuhkan probe dari dial indicator ke titik pertama pada garis a punch

7. Dial indicator disetting pada angka 0 untuk jarum besar dan jarum kecil menunjukkan pada angka 3 agar jika terdapat penyimpangan yang besar masih dapat terbaca oleh dial indicator
8. Melakukan pengukuran kelurusan pada 7 titik pada garis a
9. Memutar punch searah jarum jam sehingga probe dial indicator menyentuh titik 7 pada garis b punch dan melakukan pengukuran hingga titik 1 pada garis b
10. Memutar punch searah jarum jam sehingga probe dial indicator menyentuh titik 1 pada garis c punch dan melakukan pengukuran hingga titik 7 pada garis c
11. Memutar punch searah jarum jam sehingga probe dial indicator menyentuh titik 1 pada garis d punch dan melakukan pengukuran hingga titik 7 pada garis d
12. Mengulangi langkah 6-11 untuk pengukuran ke 2 dan 3



Gambar 4.4. Skema pengukuran kelurusan punch

4.2.4 Hasil Pengukuran Kelurusan Punch dan Analisa

Data hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch dapat dilihat pada tabel 4.5-4.8 dan disajikan dalam grafik linier berikut ini :

Contoh perhitungan tabel pengukuran kelurusan punch :

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{0+10+20+30+40+50+60}{7} \\ &= 210/7 = 30 \text{ mm} \\ \bar{y} &= \frac{\sum y}{n} \\ &= \frac{0-9-13-12-2+16+13}{7} \\ &= -7/7 = -1 \text{ } \mu\text{m} \\ X_m &= x - \bar{x} = 0 - 30 = -30 \text{ mm} \\ Y_m &= y - \bar{y} = 0 - (-1) = 1 \text{ mm} \\ \Sigma X_m Y_m &= -30+240+120+0-10+340+420 \\ &= 1080 \\ \Sigma X_m^2 &= 900+900+100+0+100+400+900 \\ &= 3300 \\ a &= \frac{\Sigma X_m * Y_m}{\Sigma X_m^2} \\ &= \frac{1080}{3300} = 0,3571429 \\ Y &= X_m * a \\ &= -30*0,3571429 = -10,71429 \\ E &= y_m - Y \\ &= 1 - (-10,71429) = 11,71429 \text{ } \mu\text{m}\end{aligned}$$

Tabel 4.2 Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch garis A

titik	x	y	Xm	Ym	Xm ²	Xm.Ym	Y	E	pers.grs
1	0	0	-30	1	900	-30	-10.71429	11.71429	-11.7143
2	10	-9	-20	-8	400	160	-7.14286	-0.85714	-8.14286
3	20	-13	-10	-12	100	120	-3.57143	-8.42857	-4.57143
4	30	-12	0	-11	0	0	0	-11	-1
5	40	-2	10	-1	100	-10	3.57143	-4.57143	2.571434
6	50	16	20	17	400	340	7.14286	9.85714	6.142864
7	60	13	30	14	900	420	10.71429	3.28571	9.714294

Keterangan :

x : jarak antar titik

y : besar penyimpangan yang ditunjukkan dial indicator

X_m : $x - x_{\text{mean}}$ atau \bar{x}

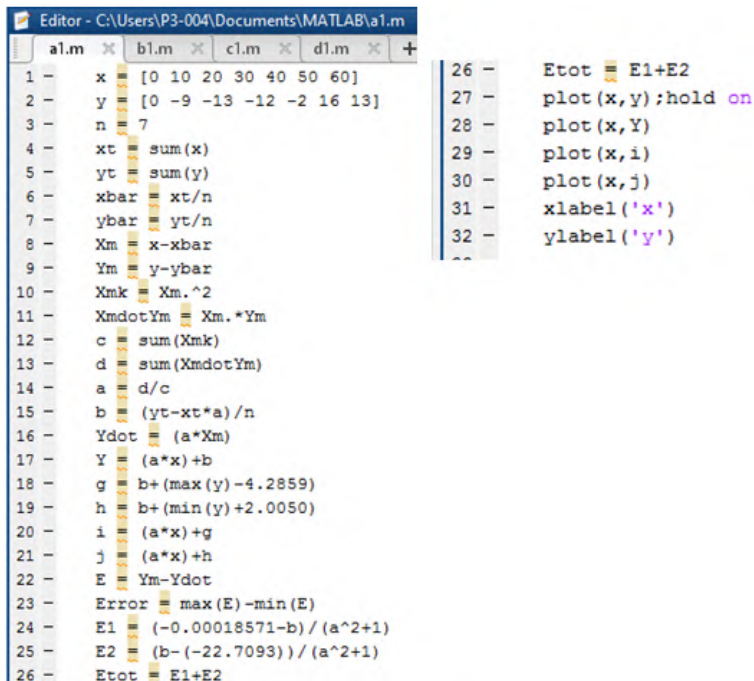
Y_m : $y - y_{\text{mean}}$ atau \bar{y}

Y : $X_m * a$

a : $\Sigma X_m * \Sigma Y_m / \Sigma X_m^2$

E : besarnya error pada tiap titik pengukuran ($y_m - Y$)

Berikut ini adalah persamaan, grafik, dan hasil pengukuran penyimpangan kelurusan pada garis pengukuran A yang didapatkan dari Matlab.

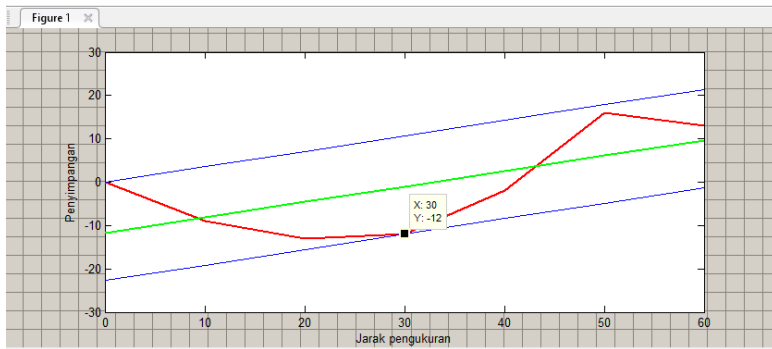


```

Editor - C:\Users\P3-004\Documents\MATLAB\al.m
1 - x = [0 10 20 30 40 50 60]
2 - y = [0 -9 -13 -12 -2 16 13]
3 - n = 7
4 - xt = sum(x)
5 - yt = sum(y)
6 - xbar = xt/n
7 - ybar = yt/n
8 - Xm = x-xbar
9 - Ym = y-ybar
10 - Xmk = Xm.^2
11 - XmdotYm = Xm.*Ym
12 - c = sum(Xmk)
13 - d = sum(XmdotYm)
14 - a = d/c
15 - b = (yt-xt*a)/n
16 - Ydot = (a*Xm)
17 - Y = (a*x)+b
18 - g = b+(max(y)-4.2859)
19 - h = b+(min(y)+2.0050)
20 - i = (a*x)+g
21 - j = (a*x)+h
22 - E = Ym-Ydot
23 - Error = max(E)-min(E)
24 - E1 = (-0.00018571-b)/(a^2+1)
25 - E2 = (b-(-22.7093))/(a^2+1)
26 - Etot = E1+E2
27 - plot(x,y);hold on
28 - plot(x,Y)
29 - plot(x,i)
30 - plot(x,j)
31 - xlabel('x')
32 - ylabel('y')

```

Gambar 4.5. Formulasi pada lembar editor matlab garis A



Gambar 4.6. Grafik pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi A



Gambar 4.7. Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi A

Grafik hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch di atas menunjukkan kelurusan permukaan punch pada 7 titik pengukuran sepanjang garis generator A. Penyimpangan

kelurusan punch didapatkan dengan menarik dan mencari jarak tegak lurus antara 2 buah garis sejajar dan menjumlahkan kedua jarak tersebut ($E1+E2$) untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan kelurusannya (E_{tot}). Berdasarkan hasil dari command window pada matlab didapatkan jarak dua buah garis sejajar berwarna biru (atas) dan hijau ($E1$) sebesar **10,389 μm** dan jarak antara 2 buah garis sejajar berwarna biru (bawah) terhadap garis hijau ($E2$) sebesar **9,7512 μm** . Besar error penyimpangan kelurusan punch yang terdapat pada garis A yaitu sebesar **20,1402 μm** masih berada di antara batas toleransi yang ditentukan. Artinya penyimpangan kelurusan punch tidak melebihi dari batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm .

Tabel 4.3 Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch garis B

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	pers.garis
1	0	6	-30	7.14286	900	-214.286	10.2858	-3.14294	9.142857
2	10	5	-20	6.14286	400	-122.857	6.8572	-0.71434	5.714257
3	20	11	-10	12.14286	100	-121.429	3.4286	8.71426	2.285657
4	30	-3	0	-1.85714	0	0	0	-1.85714	-1.14294
5	40	-6	10	-4.85714	100	-48.5714	-3.4286	-1.42854	-4.57154
6	50	-12	20	-10.85714	400	-217.143	-6.8572	-3.99994	-8.00014
7	60	-9	30	-7.85714	900	-235.714	-10.2858	2.42866	-11.4287

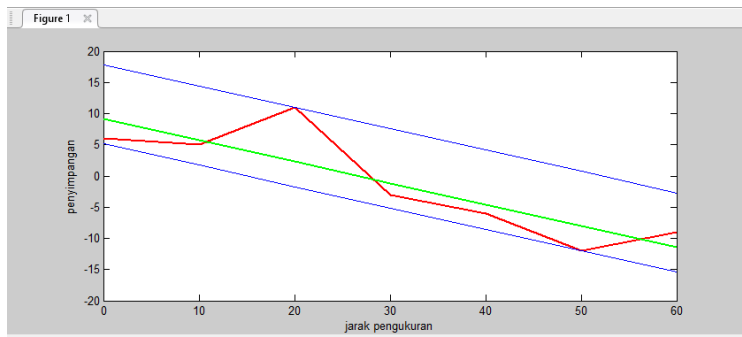
Berikut ini adalah persamaan, grafik, dan hasil pengukuran penyimpangan kelurusan pada garis pengukuran B yang didapatkan dari Matlab.

```

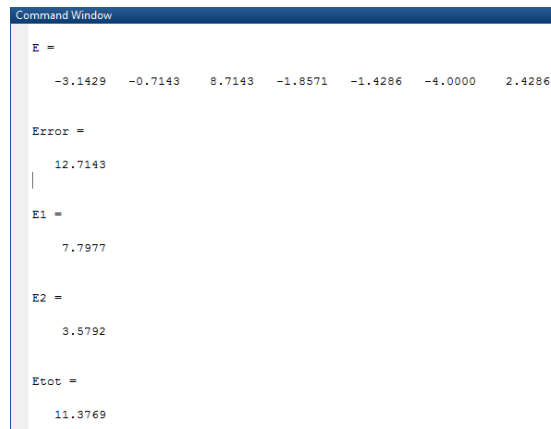
MATLAB
Editor - C:\Users\P3-004\Documents\MATLAB\b1.m
a1.m b1.m c1.m d1.m +
1 x = [0 10 20 30 40 50 60]
2 y = [6 5 11 -3 -6 -12 -9]
3 n = 7
4 xt = sum(x)
5 yt = sum(y)
6 xbar = xt/n
7 ybar = yt/n
8 Xm = x-xbar
9 Ym = y-ybar
10 Xmk = Xm.^2
11 XmdotYm = Xm.*Ym
12 c = sum(Xmk)
13 d = sum(XmdotYm)
14 a = d/c
15 b = (yt-xt*a)/n
16 Ydot = (a*Xm)
17 Y = (a*x)+b
18 g = b+(max(y)-2.2857)
19 h = b+(min(y)+8)
20 i = (a*x)+g
21 j = (a*x)+h
22 E = Ym-Ydot
23 Error = max(E)-min(E)
24 E1 = (17.8572-b)/(a^2+1)
25 E2 = (b-5.1429)/(a^2+1)
26 Etot = E1+E2

```

Gambar 4.8. Formulasi pada lembar editor matlab garis B



Gambar 4.9. Grafik pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi B



```

Command Window

E =
    -3.1429    -0.7143     8.7143    -1.8571    -1.4286    -4.0000     2.4286

Error =
    12.7143

E1 =
    7.7977

E2 =
    3.5792

Etot =
    11.3769
  
```

Gambar 4.10. Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi B

Grafik hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch di atas menunjukkan kelurusan permukaan punch pada 7 titik pengukuran sepanjang garis generator B. Penyimpangan kelurusan punch didapatkan dengan menarik dan mencari jarak tegak lurus antara 2 buah garis sejajar dan menjumlahkan kedua jarak tersebut ($E1+E2$) untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan kelurusannya (E_{tot}). Berdasarkan hasil dari command window pada matlab didapatkan jarak dua buah garis sejajar berwarna biru (atas) dan hijau ($E1$) sebesar **7,7977 μm** dan jarak antara 2 buah garis sejajar berwarna biru (bawah) terhadap garis hijau ($E2$) sebesar **3,5792 μm** . Besar penyimpangan kelurusan punch yang terdapat pada garis B yaitu sebesar **11,3769 μm** masih berada di antara batas toleransi yang ditentukan. Artinya penyimpangan kelurusan punch tidak melebihi dari batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm .

Tabel 4.4. Hasil pengukuran kelurusan punch garis C

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	per.garis
1	0	13	-30	2.42857	900	-72.8571	1.6071	0.82147	12.17857
2	10	12	-20	1.42857	400	-28.5714	1.0714	0.35717	11.64287
3	20	15	-10	4.42857	100	-44.2857	0.5357	3.89287	11.10717
4	30	6	0	-4.57143	0	0	0	-4.57143	10.57147
5	40	6	10	-4.57143	100	-45.7143	-0.5357	-4.03573	10.03577
6	50	9	20	-1.57143	400	-31.4286	-1.0714	-0.50003	9.500071
7	60	13	30	2.42857	900	72.8571	-1.6071	4.03567	8.964371

Berikut ini adalah persamaan, grafik, dan hasil pengukuran penyimpangan kelurusan pada garis pengukuran C yang didapatkan dari Matlab.

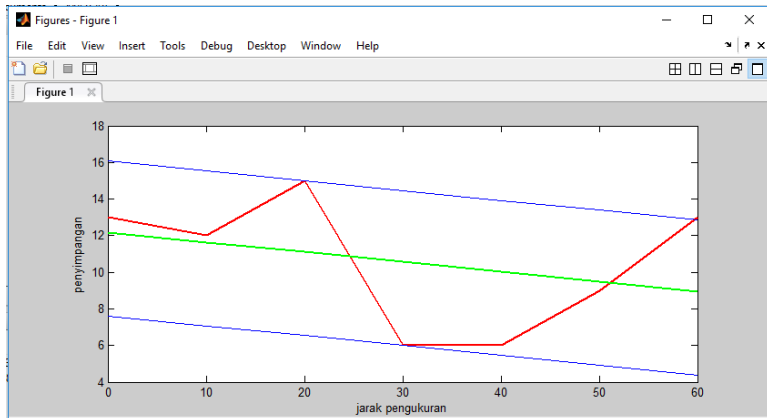
► MATLAB ►

```

Editor - C:\Users\P3-004\Documents\MATLAB\c1.m
a1.m x b1.m x c1.m x d1.m x +
1 - x = [0 10 20 30 40 50 60]
2 - y = [13 12 15 6 6 9 13]
3 - n = 7
4 - xt = sum(x)
5 - yt = sum(y)
6 - xbar = xt/n
7 - ybar = yt/n
8 - Xm = x-xbar
9 - Ym = y-ybar
10 - Xmk = Xm.^2
11 - XmdotYm = Xm.*Ym
12 - c = sum(Xmk)
13 - d = sum(XmdotYm)
14 - a = d/c
15 - b = (yt-xt*a)/n
16 - Ydot = (a*Xm)
17 - Y = (a*x)+b
18 - g = b+(max(y)-11.1071)
19 - h = b+(min(y)-10.5714)
20 - i = (a*x)+g
21 - j = (a*x)+h
22 - E = Ym-Ydot
23 - Error = max(E)-min(E)
24 - E1 = (16.0715-b)/(a^2+1)
25 - E2 = (b-7.6072)/(a^2+1)
26 - Etot = E1+E2

```

Gambar 4.11. Formulasi pada lembar editor matlab garis C



Gambar 4.12. Grafik pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi C

```

Command Window

E =
    0.8214    0.3571    3.8929   -4.5714   -4.0357   -0.5000    4.0357

Error =
    8.6071

E1 =
    3.8818

E2 =
    4.5583

Etot =
    8.4401
  
```

Gambar 4.13. Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi C

Grafik hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch di atas menunjukkan kelurusan permukaan punch pada 7 titik pengukuran sepanjang garis generator C. Penyimpangan kelurusan punch didapatkan dengan menarik dan mencari jarak tegak lurus antara 2 buah garis sejajar dan menjumlahkan kedua jarak tersebut ($E1+E2$) untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan kelurusannya (E_{tot}). Berdasarkan hasil dari command window pada matlab didapatkan jarak dua buah garis sejajar berwarna biru (atas) dan hijau ($E1$) sebesar **3.8818 μm** dan jarak antara 2 buah garis sejajar berwarna biru (bawah) terhadap garis hijau ($E2$) sebesar **4.5583 μm** . Besar penyimpangan kelurusan punch yang terdapat pada garis C yaitu sebesar **8,4401 μm** masih berada di antara batas toleransi yang ditentukan. Artinya penyimpangan kelurusan punch tidak melebihi dari batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm .

Tabel 4.5. Hasil pengukuran kelurusan punch garis D

titik	x	y	x_m	y_m	x_{m2}	$x_m.y_m$	Y	E	per.garis
1	0	-5	-30	-7.571429	900	227.1429	-11.03571	3.464281	-8.46429
2	10	-3	-20	-5.571429	400	111.4286	-7.35714	1.785711	-4.78572
3	20	-9	-10	-11.571429	100	115.7143	-3.67857	-7.892859	-1.10715
4	30	-2	0	-4.571429	0	0	0	-4.571429	2.571424
5	40	13	10	10.428571	100	104.2857	3.67857	6.750001	6.249994
6	50	12	20	9.428571	400	188.5714	7.35714	2.071431	9.928564
7	60	12	30	9.428571	900	282.8571	11.03571	-1.607139	13.60713

Berikut ini adalah persamaan, grafik, dan hasil pengukuran penyimpangan kelurusan pada garis pengukuran D yang didapatkan dari Matlab.

► MATLAB ►

Editor - C:\Users\P3-004\Documents\MATLAB\d1.m

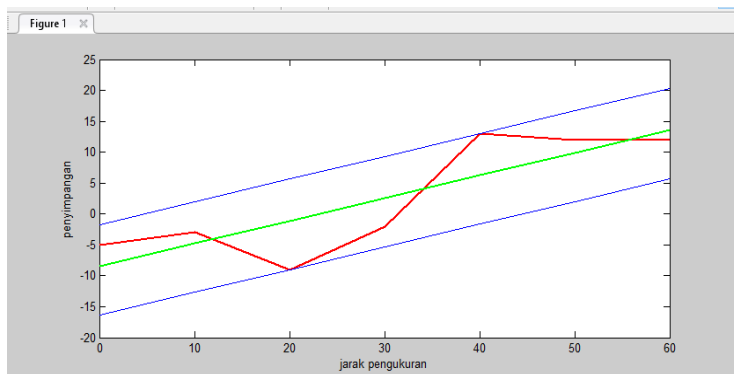
a1.m x b1.m x c1.m x d1.m x +

```

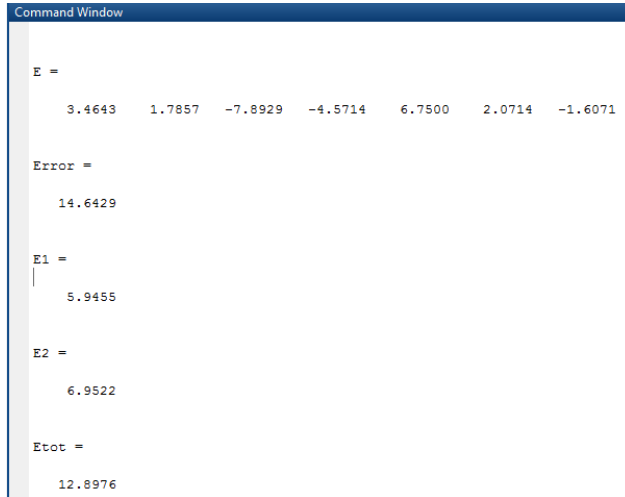
1 - x = [0 10 20 30 40 50 60]
2 - y = [-5 -3 -9 -2 13 12 12]
3 - n = 7
4 - xt = sum(x)
5 - yt = sum(y)
6 - xbar = xt/n
7 - ybar = yt/n
8 - Xm = x-xbar
9 - Ym = y-ybar
10 - Xmk = Xm.^2
11 - XmdotYm = Xm.*Ym
12 - c = sum(Xmk)
13 - d = sum(XmdotYm)
14 - a = d/c
15 - b = (yt-xt*a)/n
16 - Ydot = (a*Xm)
17 - Y = (a*x)+b
18 - g = b+(max(y)-6.2500)
19 - h = b+(min(y)+1.1071)
20 - i = (a*x)+g
21 - j = (a*x)+h
22 - E = Ym-Ydot
23 - Error = max(E)-min(E)
24 - E1 = (-1.7143-b)/(a^2+1)
25 - E2 = (b-(-16.3572))/(a^2+1)
26 - Etot = E1+E2

```

Gambar 4.14. Formulasi pada lembar editor matlab garis D



Gambar 4.15. Grafik pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi D



```

Command Window

E =
    3.4643    1.7857   -7.8929   -4.5714    6.7500    2.0714   -1.6071

Error =
    14.6429

E1 =
    5.9455

E2 =
    6.9522

Etot =
    12.8976

```

Gambar 4.16. Hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch pada posisi D

Grafik hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch di atas menunjukkan kelurusan permukaan punch pada 7 titik pengukuran sepanjang garis generator D. Penyimpangan kelurusan punch didapatkan dengan menarik dan mencari jarak tegak lurus antara 2 buah garis sejajar dan menjumlahkan kedua jarak tersebut ($E1+E2$) untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan kelurusannya (E_{tot}). Berdasarkan hasil dari command window pada matlab didapatkan jarak dua buah garis sejajar berwarna biru (atas) dan hijau ($E1$) sebesar **5,9455 μm** dan jarak antara 2 buah garis sejajar berwarna biru (bawah) terhadap garis hijau ($E2$) sebesar **6,9522 μm** . Besar penyimpangan kelurusan punch yang terdapat pada garis D yaitu sebesar **12,8976 μm** masih berada di antara batas toleransi yang ditentukan. Artinya penyimpangan kelurusan punch tidak melebihi dari batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm .

Tabel 4.6. Hasil penyimpangan kelurusan punch

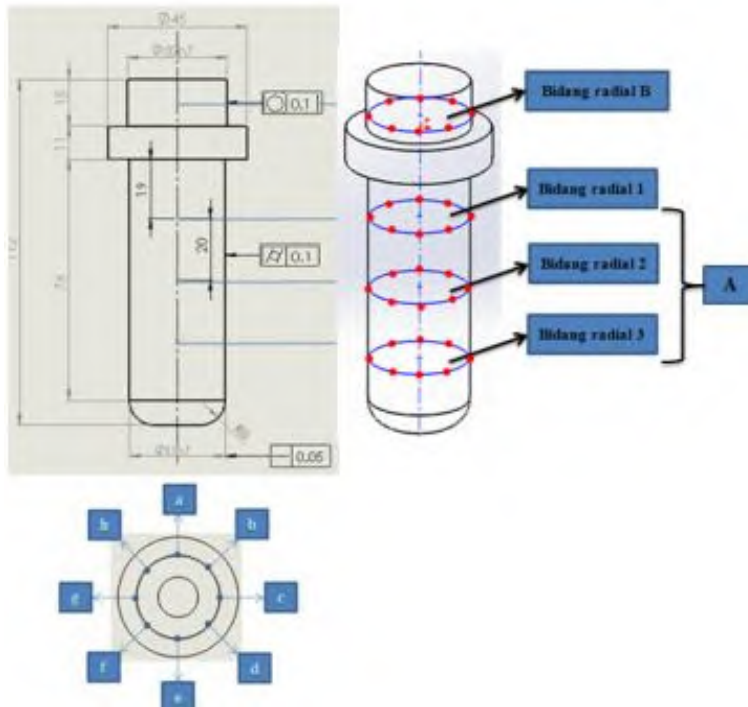
Posisi	E1 (μm)	E2 (μm)	Penyimpangan kelurusan(E_{tot})(μm)
A	10,389	9,7512	20,1402
B	7,7977	3,5792	11,3769
C	3,8818	4,5583	8,4401
D	5,9455	6,9522	12,8976

Berdasarkan tabel penyimpangan pada tiap posisi pengukuran (A-D) di atas, dapat diketahui penyimpangan kelurusan punch dengan cara mengambil penyimpangan terbesar yang terjadi, maka penyimpangan kelurusan pada punch sebesar **21,1402 μm** . Adanya penyimpangan kelurusan yang terjadi dikarenakan ketidaksempurnaan dalam proses pembuatan komponen punch, alat ukur, operator atau orang yang melakukan pengukuran serta cara pengukuran. Permukaan geometrik yang ideal (permukaan yang dianggap mempunyai bentuk yang sempurna) tidaklah dapat dibuat dan pasti terdapat penyimpangan atau error.

4.3 Pengukuran Kesilindrisan Punch

4.3.1 Punch

Besar toleransi kelurusan yang diberikan oleh perancang adalah 0.1 mm atau 100 μm . Punch dianggap telah memenuhi spesifikasi jika besarnya penyimpangan kesilindrisan yang terdapat pada punch lebih kecil atau sama dengan 100 μm .



Gambar 4.17. Posisi pengukuran kesilindrisan

4.3.2 Metode Pengukuran Kesilindrisan Punch

Pengukuran kesilindrisan punch dilakukan di atas center meja dengan menggunakan 1 dial indicator, punch dibagi menjadi beberapa bidang radial atau section. Metode pengukuran ini dikenal dengan metode bidang radial atau radial section method.

Pada pengukuran kesilindrisan ini punch dengan panjang 78 mm dibagi menjadi 3 bidang radial yaitu bidang radial 1,2, dan 3 (bagian A) dengan jarak antar bidang radial sebesar 20 mm, dan bagian B dibagi menjadi 1 bidang radial yaitu bidang radial B. Pada masing-masing bidang radial dibagi menjadi 8 titik pengukuran yaitu titik a-h. Pengukuran kesilindrisan dilakukan sebanyak 3 kali, data hasil pengukuran kesilindrisan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah dilakukan analisa. Dari data pengukuran akan diketahui seberapa besar penyimpangan kesilindrisan pada punch dengan mengurangi penyimpangan terbesar dengan penyimpangan terkecil. Penyimpangan kesilindrisan yang didapat dibandingkan dengan toleransi kesilindrisan yang diberikan oleh perancang, jika penyimpangan kesilindrisan \leq toleransi kesilindrisan maka komponen yang dibuat sudah baik dan memenuhi spesifikasi yang ditentukan oleh perancang.

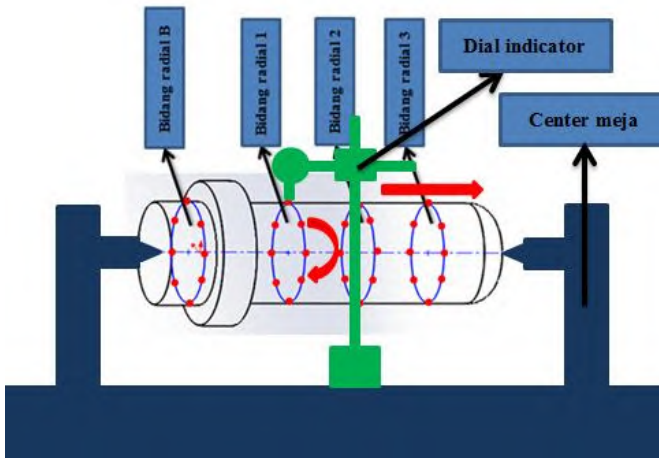
4.3.3 Langkah-langkah Pengukuran Kesilindrisan

Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran kesilindrisan punch :

1. Persiapan alat ukur dan komponen punch yang akan diukur
2. Punch dibagi menjadi 3 buah bidang radial dengan jarak antar bidang radial sebesar 20 mm dan tiap bidang terdiri dari 8 titik pengukuran (a-h)
3. Memposisikan punch pada center meja
4. Mengatur posisi sumbu punch terhadap sumbu pencekam pada center meja
5. Meletakkan dan mengatur posisi dial indicator pada center meja
6. Menyentuhkan probe dari dial indicator ke titik a pada bidang radial pertama
7. Dial indicator disetting pada angka 0 untuk jarum besar dan jarum kecil menunjukkan pada angka 3 agar jika terdapat

penyimpangan yang besar masih dapat terbaca oleh dial indicator

8. Melakukan pengukuran kesilindrisan pada 8 titik pada bidang radial 1 dengan memutar punch searah jarum jam.
9. Menggeser dial indicator ke titik a pada bidang radial yang ke 2, punch diukur dari titik h hingga titik g pada bidang radial ke 3 dengan memutar punch searah jarum jam.
10. Menggeser dial indicator ke titik a pada bidang radial yang ke 3, punch diukur dari titik g hingga titik f pada bidang radial ke 3 dengan memutar punch searah jarum jam.
11. Melakukan langkah 6-10 untuk pengukuran yang ke 2 dan 3



Gambar 4.18. Skema pengukuran kesilindrisan punch

4.3.4 Hasil Pengukuran Kesilindrisan dan Analisa

Data hasil pengukuran kesilindrisan punch dapat dilihat dalam beberapa tabel di bawah dan disajikan dalam grafik radial berikut ini

Tabel 4.7 data hasil pengukuran keslindrisan bidang radial 1,2, & 3 (bagian A)

pengukuran ke 1			
posisi	b1(μm)	b2(μm)	b3(μm)
a	0	-12	-2
b	-14	-28	-17
c	-22	-23	-23
d	-18	-12	-14
e	-29	-15	-27
f	-3	-11	7
g	-6	9	15
h	5	17	11

A maks : 17 μm (bidang radial 2), A min : -29 μm (bidang radial 1)
 Penyimpangan kesilindrisan bagian A

$$\begin{aligned}\delta &= A \text{ maks} - A \text{ min} \\ &= 17 - (-29) \\ &= 46 \mu\text{m}\end{aligned}$$

Keterangan :

b1 : hasil pengukuran ke 1 bidang radial 1

b2 : hasil pengukuran ke 1 bidang radial 2

b3 : hasil pengukuran ke 1 bidang radial 3

Tabel 4.8 data hasil pengukuran keslindrisan bidang radial 1,2,&3 (bagian A) + ref (radius punch : 15500 μm)

pengukuran ke 1+ref						
posisi	b1+ref(μm)	b2+ref(μm)	b3+ref(μm)	ref(μm)	ba(μm)	bb(μm)
a	15500	15488	15498	15500	15550	15450
b	15486	15472	15483	15500	15550	15450
c	15478	15477	15477	15500	15550	15450
d	15482	15488	15486	15500	15550	15450
e	15471	15485	15473	15500	15550	15450
f	15497	15489	15507	15500	15550	15450
g	15494	15509	15515	15500	15550	15450
h	15505	15517	15511	15500	15550	15450

Keterangan :

b1+ref : hasil pengukuran ke 1 bidang radial 1 + radius punch

b2+ref : hasil pengukuran ke 1 bidang radial 2 + radius punch

b3 +ref: hasil pengukuran ke 1 bidang radial 3 + radius punch

ref : ukuran radius punch (perancangan)

ba : batas atas toleransi yang ditentukan

bb : batas bawah toleransi yang ditentukan

Tabel 4.9 data hasil pengukuran kebulatan bidang radial B + ref
(radius punch : 16000 μm)

posisi	pengukuran ke 1 bid.radial B				
	p1(μm)	p1+ref(μm)	ref(μm)	ba(μm)	bb(μm)
a	0	16000	16000	16050	15950
b	-16	15984	16000	16050	15950
c	-15	15985	16000	16050	15950
d	-28	15972	16000	16050	15950
e	-5	15995	16000	16050	15950
f	7	16007	16000	16050	15950
g	13	16013	16000	16050	15950
h	12	16012	16000	16050	15950

A maks : 13 μm (bidang radial 2).

A min : -28 μm (bidang radial 1).

Penyimpangan kebulatan bagian A = A maks-Amin
 = 13-(-28)
 = **41 μm**

Keterangan :

p1 : hasil pengukuran ke 1 bidang radial B

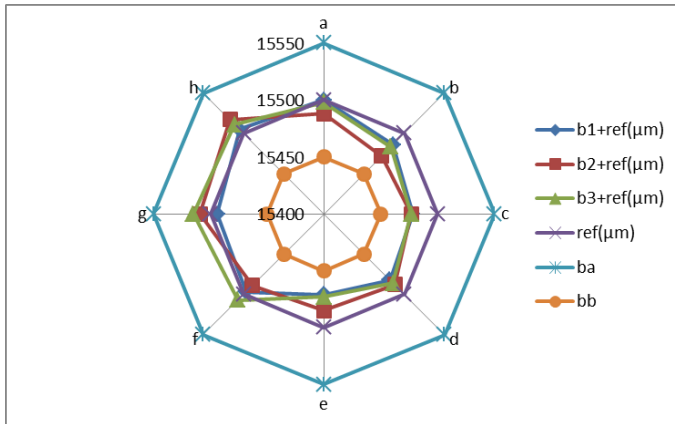
p1+ref : hasil pengukuran ke 1 bidang radial B+radius punch bagian B

p1+ref : hasil pengukuran ke 1 bidang radial B+radius punch bagian B

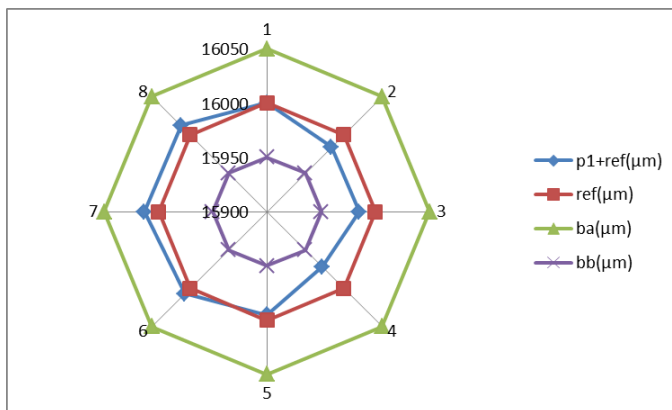
ba : batas atas toleransi yang ditentukan

bb : batas bawah toleransi yang ditentukan

Besar penyimpangan kesilindrisan yang terjadi pada tiap bidang radial seperti terlihat pada grafik radar di berikut ini :



Gambar 4.19. Grafik pengukuran kesilindrisan punch bidang radial 1,2, & 3 (bagian A)



Gambar 4.20. Grafik pengukuran kebulatan punch bidang radial B

Grafik di atas menunjukkan kesilindrisan permukaan punch pada 8 titik pengukuran bidang radial 1 dan bidang radial B pada punch dengan data yang disajikan pada tabel hasil pengukuran kesilindrisan di atas.

Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa permukaan punch pada bidang radial 1,2, dan 3 (bagian A) tidak membentuk bidang radial yang memiliki kesilindrisan sempurna melainkan merupakan bidang radial yang memiliki penyimpangan kesilindrisan yang bervariasi. Penyimpangan terbesar pada bidang radial 1 terdapat pada titik h sebesar 5 μm dan yang terkecil pada titik e sebesar -29 μm . Pada bidang radial 2 penyimpangan terbesar terdapat pada titik h sebesar 17 μm dan yang terkecil pada titik b sebesar -28 μm . Pada bidang radial 3 penyimpangan terbesar terdapat pada titik g sebesar 15 μm dan yang terkecil pada titik c sebesar -27 μm . Pada bidang radial B pengukuran ke 1 penyimpangan terbesar terdapat pada titik g sebesar 13 μm dan yang terkecil pada titik d sebesar -28 μm . Besarnya penyimpangan kesilindrisan punch dapat dicari dengan mengurangkan penyimpangan terbesar dengan penyimpangan terkecil, besar error atau penyimpangan kesilindrisan punch yaitu sebesar 44 μm . Artinya penyimpangan kesilindrisan yang terdapat pada punch tidak melebihi dari batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar 100 μm .

Penyimpangan kesilindrisan bisa terjadi karena ketidaksempurnaan dalam proses pembuatan komponen punch, alat ukur, operator atau orang yang melakukan pengukuran dan cara pengukuran. Permukaan geometrik yang ideal (permukaan yang dianggap mempunyai bentuk yang sempurna) tidaklah dapat dibuat dan pasti terdapat penyimpangan atau error sekecil apapun itu.

Tabel 4.10. Penyimpangan kesilindrisan dan kebulatan pada punch

Bidang Radial	penyimpangan terbesar(μm)	penyimpangan terkecil (μm)	Penyimpangan kesilindrisan (μm)
Bidang radial 1	5	-29	46
Bidang radial 2	17	-28	
Bidang radial 3	15	-27	
Bidang radial B	13	-28	41

Berdasarkan tabel penyimpangan kesilindrisan pada tiap bidang radial (1-3) di atas, dapat diketahui penyimpangan kesilindrisan punch yaitu dengan cara mengambil penyimpangan terbesar dan terkecil dari ketiga bidang radial, maka penyimpangan kesilindrisan pada punch bagian A sebesar **46 μm** dan masih berada di antara batas toleransi yang ditentukan. Artinya penyimpangan kesilindrisan punch dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar 100 μm .

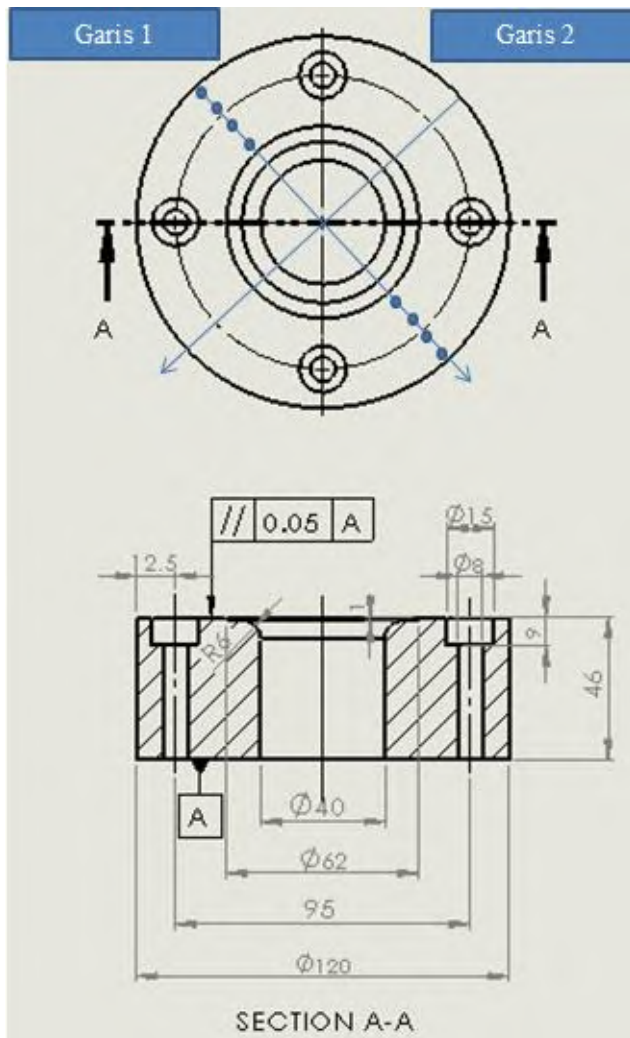
Penyimpangan kebulatan pada bidang radial B yaitu sebesar **41 μm** dan masih berada di antara batas toleransi yang ditentukan. Artinya penyimpangan kebulatan punch pada bagian B dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar 100 μm .

4.4 Pengukuran Kesejajaran Die

4.4.1 Die

Besar toleransi kesejajaran yang diberikan oleh perancang adalah 0.05 mm atau 50 μm terhadap datum A. Die dianggap telah memenuhi spesifikasi jika besarnya penyimpangan

kesejajaran yang terdapat pada punch lebih kecil atau sama dengan $50\text{ }\mu\text{m}$.



Gambar 4.21. Posisi pengukuran kesejajaran punch

4.4.2 Metode Pengukuran Kesejajaran Die

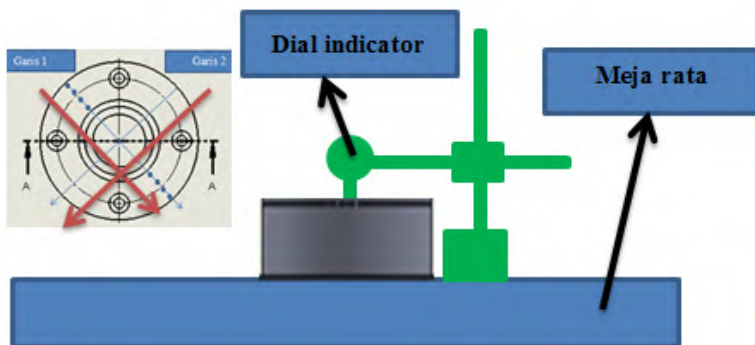
Pengukuran kesejajaran die terhadap datum A dilakukan di atas meja datar dengan menggunakan 1 dial indicator untuk mengetahui besar penyimpangan pada titik-titik yang telah ditentukan. Pada die dengan diameter luar sebesar 120 mm dibuat dua buah garis seperti terlihat pada gambar 4.13 di atas, tiap garis terdiri dari 10 titik pengukuran (titik 1-10) dengan resolusi 5 mm. Pengukuran kesejajaran dilakukan sebanyak tiga kali pengukuran. Dari data hasil pengukuran akan diketahui seberapa besar penyimpangan kesejajaran die terhadap datum A dengan cara mengurangkan penyimpangan terbesar dengan penyimpangan terkecil. Penyimpangan kesejajaran yang didapat dibandingkan dengan toleransi kesejajaran yang diberikan oleh perancang, jika penyimpangan kesejajaran \leq toleransi kesejajaran maka komponen yang dibuat sudah baik dan memenuhi spesifikasi yang ditentukan oleh perancang.

4.4.3 Langkah Pengukuran Kesejajaran Die

Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran kelurusan punch :

1. Persiapan alat ukur dan komponen punch yang akan diukur
2. Pada permukaan die dibuat 2 buah garis diagonal (garis 1 dan 2) dan tiap garis dibagi menjadi 10 titik pengukuran dengan jarak 5 mm
3. Menempatkan die di atas meja rata dengan posisi bagian datum A berada di bawah menempel pada permukaan meja rata
4. Meletakkan dan mengatur posisi dial indicator pada meja rata dan dikunci dengan magnet
5. Menyentuhkan probe dari dial indicator ke titik pertama pada garis 1
6. Dial indicator disetting pada angka 0 untuk jarum besar dan jarum kecil menunjukkan pada angka 3 agar jika terdapat penyimpangan yang besar masih dapat terbaca oleh dial indicator

7. Melakukan pengukuran kesejajaran die terhadap datum A dengan menggeser benda kerja mulai dari titik 1 hingga ke titik 10 pada garis 1
8. Menggeser benda kerja hingga probe dial indicator menyentuh titik pertama pada garis 2, dan melakukan pengukuran kesejajaran mulai dari titik 1-10 pada garis 2
9. Mencatat hasil pengukuran pada tabel pengukuran
10. Mengulangi langkah 5-9 untuk pengukuran ke 2 dan



Gambar 4.22. Skema pengukuran kerataan die

4.4.4 Data hasil Pengukuran Kesejajaran Die dan Analisa

Data hasil pengukuran kesejajaran die terhadap datum A dapat dilihat pada tabel hasil pengukuran di bawah, dimana besar penyimpangan terbesar dan terkecilnya terdapat pada keterangan berikut ini :

A maks : 23 μm (bidang radial 1&2).

A min : -22 μm (bidang radial 1).

Penyimpangan kesejajaran (δ) :

$$\delta = A \text{ maks} - A \text{ min}$$

Tabel 4.11. Hasil pengukuran kesejajaran die (pengukuran ke 1)

pengukuran ke 1				
titik	garis1(μm)	garis 2(μm)	bb(μm)	ba(μm)
1	0	16	-25	25
2	23	19	-25	25
3	18	21	-25	25
4	18	23	-25	25
5	7	9	-25	25
6	4	-6	-25	25
7	-21	-11	-25	25
8	-22	-17	-25	25
9	-17	-19	-25	25
10	-19	-13	-25	25

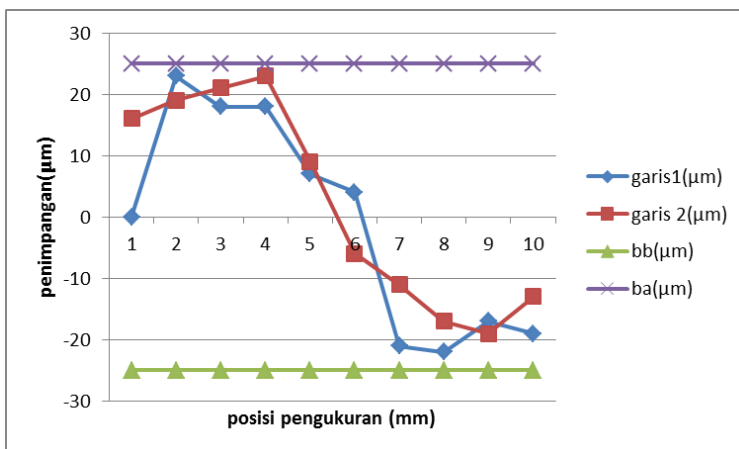
Keterangan :

y1 : hasil pengukuran ke 1 garis diagonal 1(μm)

y2 : hasil pengukuran ke 1 garis diagonal 2(μm)

ba : batas atas toleransi yang ditentukan (μm)

bb : batas bawah toleransi yang ditentukan (μm)



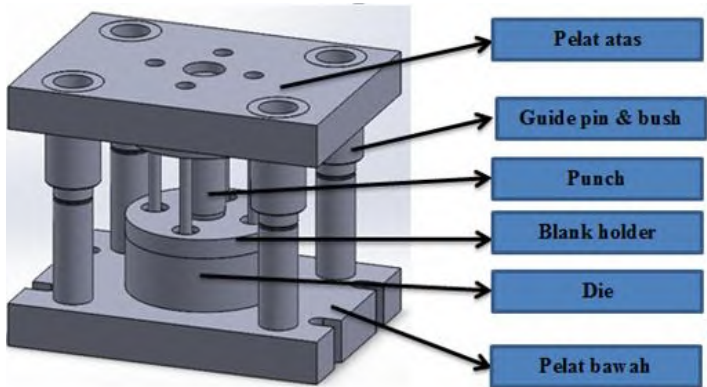
Gambar 4.23. Grafik penyimpangan kesejajaran die

Dari data pada tabel 4.11 dan grafik di atas dapat terlihat bahwa penyimpangan terbesar yang terdapat pada garis 1 yaitu terletak pada titik ke 2 pengukuran sebesar $23 \mu\text{m}$ dan penyimpangan terkecil pada titik ke 8 sebesar $-22 \mu\text{m}$. Penyimpangan terbesar yang terdapat pada garis 2 yaitu terletak pada titik ke 7 pengukuran sebesar $23 \mu\text{m}$ dan penyimpangan terkecil pada titik ke 2 sebesar $-19 \mu\text{m}$.

Besarnya penyimpangan kesejajaran pada die dapat dicari dengan mengurangkan penyimpangan terbesar dengan penyimpangan terkecil, besar error atau penyimpangan kesejajaran yang terdapat pada die yaitu sebesar $45 \mu\text{m}$. Artinya penyimpangan kesejajaran die terhadap datum A tidak melebihi batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar $50 \mu\text{m}$.

4.5 Pengukuran Ketegaklurusan Punch terhadap Meja Kerja

4.5.1 Susunan Komponen Cetakan Cup Silindris



Gambar 4.24. Posisi pengukuran ketegaklurusan punch terhadap datum (meja rata)

4.5.2 Metode Pengukuran Ketegaklurusan

Pengukuran ketegaklurusan punch dilakukan dengan menggunakan 1 dial indicator dengan kecermatan $0,001 \text{ mm}$.

Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur permukaan atau bagian terluar punch. Punch diukur pada sisi A,B,C, & D. Pengukuran pada tiap sisi dilakukan sebanyak 3 kali. Data hasil pengukuran penyimpangan kelurusan akan diplot ke dalam bentuk grafik line, dari data pengukuran akan diketahui seberapa besar penyimpangan ketegaklurusan pada punch dengan mengurangi penyimpangan terbesar dengan penyimpangan terkecil. Penyimpangan ketegaklurusan yang didapat dibandingkan dengan toleransi ketegaklurusan yang ditentukan, jika penyimpangan ketegaklurusan \leq toleransi ketegaklurusan maka komponen yang dibuat sudah baik dan memenuhi spesifikasi yang ditentukan oleh perancang.

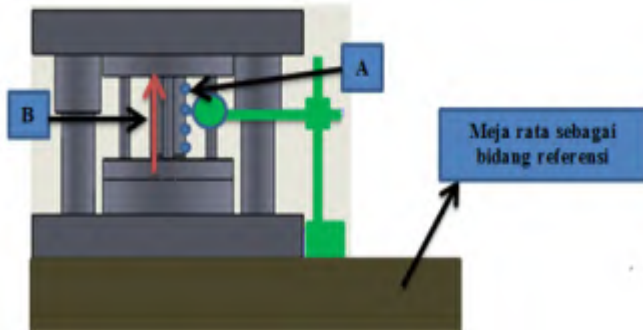
4.5.3 Langkah-langkah Pengukuran Ketegaklurusan

Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran kelurusan punch :

1. Persiapan alat ukur dan komponen punch yang akan diukur
2. Permukaan punch dibagi menjadi 4 buah garis generator ke arah vertikal dan tiap garis terdiri dari 6 titik pengukuran dengan jarak tiap titik 10 mm
3. Memposisikan komponen cetakan cup silindris pada meja rata
4. Mengatur posisi atau ketinggian punch terhadap lubang die
5. Meletakkan dan mengatur posisi dial indicator pada meja rata
6. Menyentuhkan probe dari dial indicator ke titik pertama pada garis generator A punch
7. Dial indicator disetting pada angka 0 untuk jarum besar dan jarum kecil menunjukkan pada angka 3 agar jika terdapat penyimpangan yang besar masih dapat terbaca oleh dial indicator
8. Memindah posisi dial indicator ke garis generator B, dial doset 0 lagi dan diukur dari titik 1-6, Punch diputar sehingga posisi garis C&D berada disamping dan dilakukan

pengukuran pada garis C&D seperti pengukuran pada garis A&B.

9. Mengulangi langkah 4-8 untuk pengukuran ke 2 dan 3



Gambar 4.25. Skema pengukuran ketegaklurusan punch

4.5.4 Data dan Analisa Hasil Pengukuran Ketegaklurusan Punch terhadap Meja Kerja

Data hasil pengukuran kesejajaran die terhadap datum A dapat dilihat pada tabel hasil pengukuran berikut ini :

Tabel 4.12.Data hasil pengukuran ketegaklurusan punch (pengukuran ke 1)

titik	posisi(mm)	pg 1(μm)	pg 2(μm)	ba(μm)	bb(μm)
1	0	0	0	25	-25
2	10	-13	14	25	-25
3	20	-18	19	25	-25
4	30	-12	21	25	-25
5	40	-4	9	25	-25
6	60	-7	11	25	-25

Penyimpangan ketegaklurusan (δ) :

$$\delta (\text{pg1}) = 0 - (-18) = 18\mu\text{m}$$

$$\delta (\text{pg2}) = 21 - 0 = 21\mu\text{m}$$

Tabel 4.13.Data hasil pengukuran ketegaklurusan punch (pengukuran ke 1)

titik	sisi(mm)	pg 3(μm)	pg 4(μm)	ba(μm)	bb(μm)
1	0	0	0	25	-25
2	10	-7	19	25	-25
3	20	-20	15	25	-25
4	30	-12	9	25	-25
5	40	-13	11	25	-25
6	60	-6	-2	25	-25

Keterangan :

Pg 1 : penyimpangan pada garis generator A

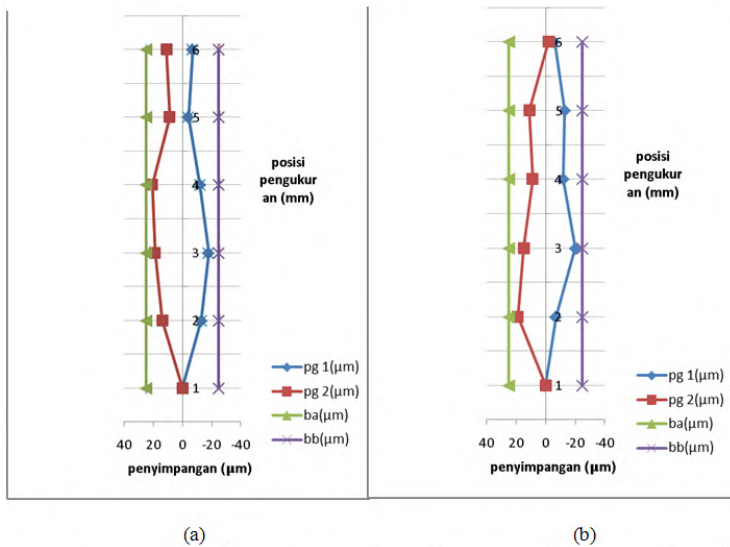
ba : batas atas toleransi

Pg 2 : penyimpangan pada garis generator B

bb : batas bawah toleransi

Pg 3 : penyimpangan pada garis generator C

Pg 4 : penyimpangan pada garis generator D



Gambar 4.26. (a) Grafik penyimpangan ketegaklurusan punch garis A&B (b) Grafik penyimpangan ketegaklurusan punch garis C&D

Dari data pada tabel 4.13 & 4.14 dan grafik di atas dapat terlihat bahwa penyimpangan terbesar terdapat pada garis pengukuran ke A yaitu terletak pada titik ke 1 sebesar 0 μm dan terkecil pada titik ke 3 sebesar -18 μm . Penyimpangan terbesar terdapat pada garis B yaitu terletak pada titik ke 4 sebesar 21 μm dan terkecil pada titik ke 1 sebesar 0 μm . Penyimpangan terbesar terdapat pada garis C yaitu terletak pada titik ke 1 sebesar 0 μm dan terkecil pada titik ke 3 sebesar -20 μm . Penyimpangan terbesar terdapat pada garis D yaitu terletak pada titik ke 2 sebesar 19 μm dan terkecil pada titik ke 6 sebesar -2 μm .

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penyimpangan ketegaklurusan di atas, penyimpangan ketegaklurusan punch ditentukan dengan mengambil penyimpangan terbesar yang terjadi, maka penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap datum sebesar **21 μm** dpada garis B&D dan masih berada di antara batas toleransi yang ditentukan. Artinya penyimpangan kesilindrisan punch tidak melebihi dari batas toleransi yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm .

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengukuran terhadap penyimpangan geometrik yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 1) a) Untuk mengukur penyimpangan kelurusan dan kesilindrisan punch digunakan 1 dial indicator dan center meja sebagai pemegang punch, metode least square digunakan untuk mengetahui besar penyimpangan kelurusan dan metode bidang radial digunakan untuk mengetahui besar penyimpangan kesilindrisan punch. Untuk kesejajaran die dan ketegaklurusan punch diukur dengan menggunakan dial indicator dan pengukuran dilakukan di atas meja rata. Pada punch dan die dibuat 2 garis generator tempat titik-titik pengukuran. Untuk setiap jenis pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali, dan diambil hasil pengukuran terbesar dari ke 3 kali pengukuran tersebut.

- b) Besar penyimpangan kelurusan punch pada pengukuran pertama adalah 21 μm , pengukuran ke dua sebesar 20 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 19 μm . Berdasarkan hasil pengukuran tersebut maka punch memenuhi kelurusan sesuai yang diminta oleh perancang karena penyimpangan kelurusannya lebih kecil dari pada toleransi kelurusan yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm . Artinya punch dapat digunakan untuk proses deep drawing.

- c) Besar penyimpangan kesilindrisan punch bagian A pada pengukuran pertama adalah 46 μm , pengukuran ke dua sebesar 44 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 55 μm . Sedangkan penyimpangan kebulatan punch bagian B pada pengukuran pertama adalah 41 μm , pengukuran ke dua sebesar 40 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 40 μm .

Berdasarkan hasil pengukuran kesilindrisan tersebut maka punch dapat diterima karena penyimpangan kesilindrisannya lebih kecil dari pada toleransi kesilindrisan yang ditentukan yaitu sebesar 100 μm . Artinya punch sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perancang dan dapat digunakan untuk proses deep drawing.

d) Besar penyimpangan kesejajaran die pada pengukuran pertama adalah 42 μm , pengukuran ke dua sebesar 39 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 40 μm . Berdasarkan hasil pengukuran kesejajaran tersebut maka penyimpangan kesejajaran die lebih kecil dari pada toleransi kesejajaran yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm . Artinya die sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perancang dan dapat digunakan untuk proses deep drawing.

- 2) Besar penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap datum pada pengukuran pertama adalah 21 μm , pengukuran ke dua sebesar 21 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 19 μm . Berdasarkan hasil pengukuran penyimpangan ketegaklurusan tersebut maka punch dapat memenuhi spesifikasi yang ditentukan karena memiliki penyimpangan ketegaklurusan yang lebih kecil dari pada toleransi kesejajaran yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm .

5.2 Saran

Untuk pengukuran terhadap toleransi berikutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat maka perlu menggunakan alat ukur dan alat bantu pengukuran yang memiliki kecermatan lebih baik.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengukuran penyimpangan kelurusan punch

Tabel hasil pengukuran kelurusan punch garis A (pengukuran ke 2)

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	pers.garis	ba	bb
1	0	0	-30	1.57143	900	-47.1429	-9.53571	11.10714	-11.1071	8.892857	-31.1071
2	10	-9	-20	-7.42857	400	148.5714	-6.35714	-1.07143	-7.92857	12.07143	-27.9286
3	20	-11	-10	-9.42857	100	94.2857	-3.17857	-6.25	-4.75	15.25	-24.75
4	30	-13	0	-11.42857	0	0	0	-11.42857	-1.57143	18.42857	-21.5714
5	40	-4	10	-2.42857	100	-24.2857	3.17857	-5.60714	1.607137	21.60714	-18.3929
6	50	14	20	15.57143	400	311.4286	6.35714	9.21429	4.785707	24.78571	-15.2143
7	60	12	30	13.57143	900	407.1429	9.53571	4.03572	7.964277	27.96428	-12.0357
sumx2	sum x	sum y			sum xm2	sum xm.ym	a	error			
44100	210	-11			2800	890	0.3178571	22.53571			

Tabel hasil pengukuran kelurusan punch garis B (pengukuran ke 2)

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	pers.garis	ba	bb
1	0	5	-30	6.28571	900	-188.5713	11.8929	-5.60719	10.60714	30.60714	-9.39286
2	10	9	-20	10.28571	400	-205.7142	7.9286	2.35711	6.642843	26.64284	-13.3572
3	20	13	-10	14.28571	100	-142.8571	3.9643	10.32141	2.678543	22.67854	-17.3215
4	30	-6	0	-4.71429	0	0	0	-4.71429	-1.28576	18.71424	-21.2858
5	40	-6	10	-4.71429	100	-47.1429	-3.9643	-0.74999	-5.25006	14.74994	-25.2501
6	50	-13	20	-11.71429	400	-234.2858	-7.9286	-3.78569	-9.21436	10.78564	-29.2144
7	60	-11	30	-9.71429	900	-291.4287	-11.8929	2.17861	-13.1787	6.821343	-33.1787
sumx2	sum x	sum y			sum xm2	sum xm.ym	a	error			
44100	210	-9			2800	-1110	-0.3964286	15.9286			

Tabel hasil pengukuran kelurusan punch garis C (pengukuran ke 2)

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	y1	ba	bb
1	0	12	-30	1	900	-30	1.6071	-0.6071	12.60714	32.60714	-7.39286
2	10	14	-20	3	400	-60	1.0714	1.9286	12.07144	32.07144	-7.92856
3	20	14	-10	3	100	-30	0.5357	2.4643	11.53574	31.53574	-8.46426
4	30	7	0	-4	0	0	0	-4	11.00004	31.00004	-8.99996
5	40	9	10	-2	100	-20	-0.5357	-1.4643	10.46434	30.46434	-9.53566
6	50	9	20	-2	400	-40	-0.9286	-1.0714	9.928643	29.92864	-10.0714
7	60	12	30	1	900	30	-1.6071	2.6071	9.392943	29.39294	-10.6071
sumx2	sum x	sum y			sum xm2	sum xm.y	a	error			
44100	210	77			2800	-150	-0.0535714	6.6071			

Tabel hasil pengukuran kelurusan punch garis D (pengukuran ke 2)

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	ba	bb	pers.garis
1	0	-4	-30	-5	900	150	-10.39287	5.39287	10.60714	-29.3929	-9.392857143
2	10	-5	-20	-6	400	120	-6.92858	0.92858	14.07143	-25.9286	-5.928567143
3	20	-12	-10	-13	100	130	-3.46429	-9.53571	17.53572	-22.4643	-2.464277143
4	30	-6	0	-7	0	0	0	-7	21.00001	-19	1.000012857
5	40	14	10	13	100	130	3.46429	9.53571	24.4643	-15.5357	4.464302857
6	50	11	20	10	400	200	6.92858	3.07142	27.92859	-12.0714	7.928592857
7	60	9	30	8	900	240	10.39287	-2.39287	31.39288	-8.60712	11.39288286
sumx^2	sum x	sum y			sum xm^2	sum xm.ym	a	error			
44100	210	7			2800	970	0.3464286	19.07142			

Tabel hasil pengukuran kelurusan punch garis A (pengukuran ke 3)

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	y1	ba	bb
1	0	0	-30	1.42857	900	-42.8571	-9	10.42857	-10.4286	9.571429	-30.4286
2	10	-8	-20	-6.57143	400	131.4286	-6	-0.57143	-7.42857	12.57143	-27.4286
3	20	-11	-10	-9.57143	100	95.7143	-3	-6.57143	-4.42857	15.57143	-24.4286
4	30	-12	0	-10.57143	0	0	0	-10.57143	-1.42857	18.57143	-21.4286
5	40	-4	10	-2.57143	100	-25.7143	3	-5.57143	1.571429	21.57143	-18.4286
6	50	14	20	15.42857	400	308.5714	6	9.42857	4.571429	24.57143	-15.4286
7	60	11	30	12.42857	900	372.8571	9	3.42857	7.571429	27.57143	-12.4286
sumx2	sum x	sum y			sum xm2	sum xm.ym	a	error			
44100	210	-10			2800	840	0.3	21			

Tabel hasil pengukuran kelurusan punch garis B (pengukuran ke 3)

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	pers.garis	ba	bb
1	0	5	-30	4.714286	900	-141.42858	8.8929	-4.178614	9.178571	29.17857	-10.8214
2	10	8	-20	7.714286	400	-154.28572	5.9286	1.785686	6.214271	26.21427	-13.7857
3	20	9	-10	8.714286	100	-87.14286	2.9643	5.749986	3.249971	23.24997	-16.75
4	30	-1	0	-1.285714	0	0	0	-1.285714	0.285671	20.28567	-19.7143
5	40	-3	10	-3.285714	100	-32.85714	-2.9643	-0.321414	-2.67863	17.32137	-22.6786
6	50	-8	20	-8.285714	400	-165.71428	-5.9286	-2.357114	-5.64293	14.35707	-25.6429
7	60	-8	30	-8.285714	900	-248.57142	-8.8929	0.607186	-8.60723	11.39277	-28.6072
sumx2	sum x	sum y			sum xm2	sum xm.ym	a	error			
44100	210	2			2800	-830	-0.2964286	8.1071			

Tabel hasil pengukuran kelurusan punch garis C (pengukuran ke 3)

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	pers.garis	ba	bb
1	0	12	-30	1.28571	900	-38.5713	0.3213	0.96441	11.03571	31.03571	-8.96429
2	10	12	-20	1.28571	400	-25.7142	0.2142	1.07151	10.92861	30.92861	-9.07139
3	20	13	-10	2.28571	100	-22.8571	0.1071	2.17861	10.82151	30.82151	-9.17849
4	30	6	0	-4.71429	0	0	0	-4.71429	10.71441	30.71441	-9.28559
5	40	7	10	-3.71429	100	-37.1429	-0.1071	-3.60719	10.60731	30.60731	-9.39269
6	50	12	20	1.28571	400	25.7142	-0.2142	1.49991	10.50021	30.50021	-9.49979
7	60	13	30	2.28571	900	68.5713	-0.3213	2.60701	10.39311	30.39311	-9.60689
sumx2	sum x	sum y			sum xm2	sum xm.ym	a	error			
44100	210	75			2800	-30	-0.0107143	7.3213			

Tabel hasil pengukuran kelurusan punch garis D (pengukuran ke 3)

titik	x	y	Xm	Ym	Xm2	Xm.Ym	Y	E	pers.garis	ba	bb
1	0	-6	-30	-5.42857	900	162.8571	-10.92858	5.50001	-11.5	8.5	-31.5
2	10	-5	-20	-4.42857	400	88.5714	-7.28572	2.85715	-7.85714	12.14286	-27.8571
3	20	-13	-10	-12.42857	100	124.2857	-3.64286	-8.78571	-4.21428	15.78572	-24.2143
4	30	-9	0	-8.42857	0	0	0	-8.42857	-0.57142	19.42858	-20.5714
5	40	7	10	7.57143	100	75.7143	3.64286	3.92857	3.07144	23.07144	-16.9286
6	50	12	20	12.57143	400	251.4286	7.28572	5.28571	6.7143	26.7143	-13.2857
7	60	10	30	10.57143	900	317.1429	10.92858	-0.35715	10.35716	30.35716	-9.64284
sumx2	sum x	sum y			sum xm2	sum xm.ym	a	error			
44100	210	-4			2800	1020	0.3642857	14.28572			

Lampiran 2. Data pengukuran kesilindrisan punch

Tabel hasil pengukuran kesilindrisan bidang radial bagian A(pengukuran ke 2)

pengukuran ke 2			
posisi	b1(μm)	b2(μm)	b3(μm)
a	0	-14	3
b	-17	-19	-25
c	-26	-29	-31
d	-15	-24	-22
e	-21	3	-16
f	5	-2	9
g	-7	-4	5
h	8	9	12

Tabel hasil pengukuran kesilindrisan bidang radial bagian A(pengukuran ke 3)

pengukuran ke 3			
posisi	b1(μm)	b2(μm)	b3(μm)
a	0	-11	1
b	-15	-24	-19
c	-21	-23	-25
d	-19	-33	-11
e	-11	-4	-1
f	4	2	12
g	-4	9	12
h	6	22	17

Tabel hasil pengukuran kesilindrisan bidang radial bagian B
(pengukuran 1,2, dan 3)

posisi	pengukuran di B		
	p1(μm)	p2(μm)	p3(μm)
a	0	0	0
b	-16	-13	-12
c	-15	-19	-13
d	-28	-26	-22
e	-5	3	9
f	7	9	12
g	13	19	23
h	12	16	20

Lampiran 3. Data pengukuran kesejajaran die

Tabel hasil pengukuran kesejajaran die (pengukuran ke 2 & 3)

pengukuran 2				
titik	garis 1(μm)	garis 2(μm)	bb(μm)	ba(μm)
1	0	-9	-25	25
2	19	-17	-25	25
3	18	-19	-25	25
4	17	-8	-25	25
5	11	2	-25	25
6	-7	24	-25	25
7	-24	22	-25	25
8	-21	18	-25	25
9	-21	14	-25	25
10	-18	17	-25	25

pengukuran 3				
titik	garis 1(μm)	garis 2(μm)	bb(μm)	ba(μm)
1	0	-11	-25	25
2	22	-19	-25	25
3	15	-15	-25	25
4	19	-5	-25	25
5	-8	17	-25	25
6	-18	21	-25	25
7	-18	20	-25	25
8	-16	18	-25	25
9	-13	21	-25	25
10	-17	15	-25	25

Lampiran 4. Data pengukuran ketegaklurusan punch

Tabel hasil pengukuran ketegaklurusan punch (pengukuran ke 2)

titik	posisi(mm)	pg 1(μ m)	pg 2(μ m)	ba(μ m)	bb(μ m)
1	0	0	-23	25	-25
2	10	-18	-22	25	-25
3	20	-22	-14	25	-25
4	30	-19	-12	25	-25
5	40	-4	-2	25	-25
6	60	13	10	25	-25

Tabel hasil pengukuran ketegaklurusan punch (pengukuran ke 3)

titik	posisi(mm)	pg 1(μ m)	pg 2(μ m)	ba(μ m)	bb(μ m)
1	0	0	-21	25	-25
2	10	-13	-22	25	-25
3	20	-23	-7	25	-25
4	30	-9	-1	25	-25
5	40	-5	5	25	-25
6	60	12	15	25	-25

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengukuran terhadap penyimpangan geometrik yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1) a) Untuk mengukur penyimpangan kelurusan dan kesilindrisan punch digunakan 1 dial indicator dan center meja sebagai pemegang punch, metode least square digunakan untuk mengetahui besar penyimpangan kelurusan dan metode bidang radial digunakan untuk mengetahui besar penyimpangan kesilindrisan punch. Untuk kesejajaran die dan ketegaklurusan punch diukur dengan menggunakan dial indicator dan pengukuran dilakukan di atas meja rata. Pada punch dan die dibuat 2 garis generator tempat titik-titik pengukuran. Untuk setiap jenis pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali, dan diambil hasil pengukuran terbesar dari ke 3 kali pengukuran tersebut.

b) Besar penyimpangan kelurusan punch pada pengukuran pertama adalah 21 μm , pengukuran ke dua sebesar 20 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 19 μm . Berdasarkan hasil pengukuran tersebut maka punch memenuhi kelurusan sesuai yang diminta oleh perancang karena penyimpangan kelurusannya lebih kecil dari pada toleransi kelurusan yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm . Artinya punch dapat digunakan untuk proses deep drawing.

c) Besar penyimpangan kesilindrisan punch bagian A pada pengukuran pertama adalah 46 μm , pengukuran ke dua sebesar 44 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 55 μm . Sedangkan penyimpangan kebulatan punch bagian B pada pengukuran pertama adalah 41 μm , pengukuran ke dua sebesar 40 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 40 μm . Berdasarkan hasil pengukuran kesilindrisan tersebut maka

punch dapat diterima karena penyimpangan kesilindrisannya lebih kecil dari pada toleransi kesilindrisan yang ditentukan yaitu sebesar 100 μm . Artinya punch sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perancang dan dapat digunakan untuk proses deep drawing.

d) Besar penyimpangan kesejajaran die pada pengukuran pertama adalah 42 μm , pengukuran ke dua sebesar 39 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 40 μm . Berdasarkan hasil pengukuran kesejajaran tersebut maka penyimpangan kesejajaran die lebih kecil dari pada toleransi kesejajaran yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm . Artinya die sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perancang dan dapat digunakan untuk proses deep drawing.

- 2) Besar penyimpangan ketegaklurusan punch terhadap datum pada pengukuran pertama adalah 21 μm , pengukuran ke dua sebesar 21 μm , dan pengukuran ketiga sebesar 19 μm . Berdasarkan hasil pengukuran penyimpangan ketegaklurusan tersebut maka punch dapat memenuhi spesifikasi yang ditentukan karena memiliki penyimpangan ketegaklurusan yang lebih kecil dari pada toleransi kesejajaran yang ditentukan yaitu sebesar 50 μm .

5.2 Saran

Untuk pengukuran terhadap toleransi berikutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat maka perlu menggunakan alat ukur dan alat bantu pengukuran yang memiliki kecermatan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abrele, Wolfgang. 1990. *Prüfverfahren für Form-und Legeabweichungen*. Berlin: Beuth.
- [2] Batan, I Made Londen. 2008. *Spesifikasi Geometri Produk*. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- [3] Henzold, G. 1995. *Handbook Of Geometrical Tolerancing*. England: Wiley Publisher.
- [4] Joshi, P.H. 2010. *Press Tools Design and Construction*. New Delhi: S.Chand Publisher.
- [5] Rochim, T. 2001. *Spesifikasi, Metrology & Kontrol Kualitas Geometrik Jilid 1*. Bandung: Lab. Metrologi Industri, Departemen Teknik mesin FTI-ITB.
- [6] Rochim, T. 2006. *Spesifikasi, Metrology & Kontrol Kualitas Geometrik Jilid 2*. Bandung: Lab. Metrologi Industri, Departemen Teknik mesin FTI-ITB.

RIWAYAT PENULIS



Deny Prasyamtyo, akrab dipanggil Debo (Deny Bojonegoro), lahir di Bojonegoro 05 Maret 1992, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Riwayat pendidikan penulis diawali dari TK Bustanul Atfal Pesen tahun 1996-1998 dan dilanjutkan ke MII Pesen pada tahun 1998-2004. Jenjang pendidikan menengah di tempuh di SMPN 1 Sumberrejo pada tahun 2004-2007 dan SMKN 2 Bojonegoro pada tahun 2007-2010. Dengan motivasi kuat untuk meningkatkan ilmu pengetahuan dan derajat keluarga, penulis berhasil menempuh pendidikan di perguruan tinggi, tepatnya di jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya pada tahun 2010-2016.

Selama menimba ilmu di Teknik Mesin ITS, penulis juga aktif dalam berorganisasi. Tercatat penulis pernah berkecimpung di UKM Sepakbola ITS, dan pernah meraih prestasi dalam berbagai turnamen futsal di ITS dan di luar ITS. Dalam bidang akademik, penulis juga pernah menjadi grader dan asisten kelas beberapa mata kuliah, antara lain garmes, kinmek & pengukuran teknik.

Pengalaman dan ilmu pengetahuan yang telah diperoleh selama menimba ilmu keteknikan dan kehidupan di Teknik Mesin ITS, penulis berharap untuk dapat mengamalkan ilmu dan memberikan kontribusi positif bagi keluarga, agama, dan bangsa Indonesia.

Kontak penulis : *prasyamtyo.deny@gmail.com*.